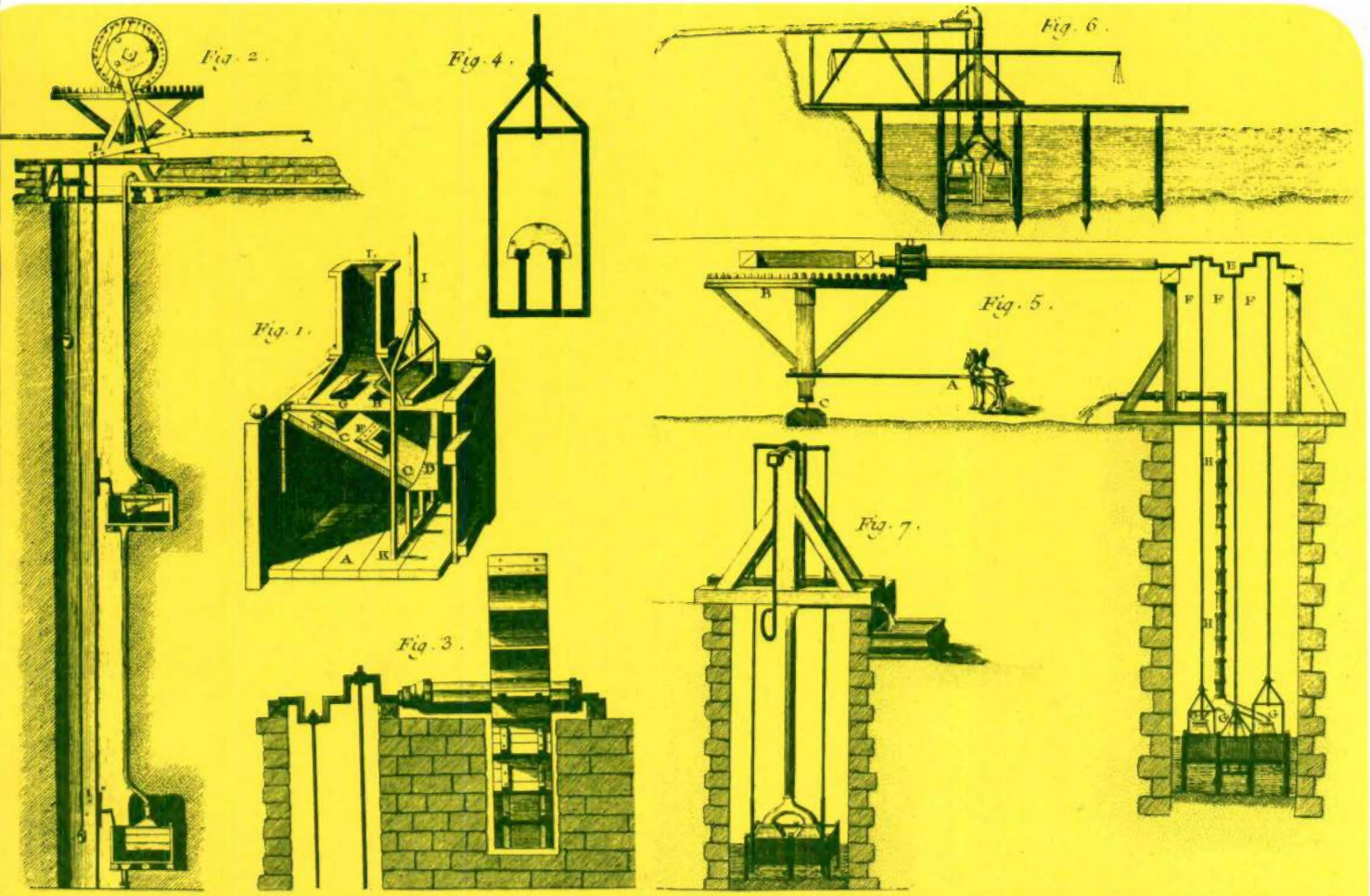
técnica



401
associação dos estudantes do instituto superior técnico
outubro 1970
revista de engenharia

HELIAÇO

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40 («Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

Fenner

REDUTORES DE VELOCIDADE

TIPO «PONTA DE VEIO»

mais de cem anos de progresso dos maiores fabricantes ingleses

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

AUTO-LUSITANIA
ALFREDO DUARTE L.da
AV. DA LIBERDADE 73-77 LISBOA

10.000 obras realizadas

- coberturas
- perfis especiais
- vigas pré-esforçadas
- pavimento trief
- protecção de segurança
- mosaicos
- tubos

materiais novobra

PAVIMENTOS

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADOS (HOMOLOGADOS PELO LAB. NAC. DE ENGENHARIA CIVIL)

LEIRIA PONTE DAS MESTRAS TEL. 2 37 68
LISBOA AV. EST. UNIDOS DA AMERICA, 100, 5.º, Dto. TEL. 77 18 03 - 77 48 32
LAGOA ESTRADA DO CARMO TEL. 54

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

técnica

NUMERO 401 OUTUBRO DE 1970 ANO XLVI VOLUME XXXIII PUBLICAÇÃO MENSAL

Director

João Soares Alves

Administrador

Silvério de Sousa Mendes

Secretário

Rui Coutinho Torrinha

Chefe de Redacção

Vladimiro de Oliveira

Redactores

Alvaro Manuel Cortez
Francisco Toco Emílio
Henrique Nunes Garcia
Maria Manuela Mota

Assinaturas

		5 Nos.	10 Nos.
Continente e Ilhas	—	85$00	160$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	95$00	170$00
Estrangeiro	—		180$00

Número avulso — 25$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais 103 — Lisboa

SUMÁRIO

1 *MANUEL ROCHA* — **O papel dos Laboratórios na Engenharia Civil.**
The paper of Laboratories of Civil Engineering

9 *AIRES-BARROS* — **Note preliminaire sur un indice d'alterabilité.**
Nota preliminar sobre um índice de alterabilidade

13 *BORGES DA SILVA* — **Auto-excitação simultânea, assíncrona e espontânea de dois modos, num oscilador de reacção empregando um único elemento não-linear activo do 3.º grau.**
Two kinds of simultaneous, assyncronous and spontaneous auto-excitation, in a reaction oscilator a simple active non-linear element of the 3rd degree

29 *DANIEL VERA-CRUZ* — **Erosão de praias — Panorama geral — Situação em Portugal.**
General aspects of beach erosion actual state in Portugal

49 *VITOR ANUNCIADA* — **Centralização de medida e alarme; sistemas de alta velocidade com programação automática.**
High speed centralization systems of mesure and with automatic programmation

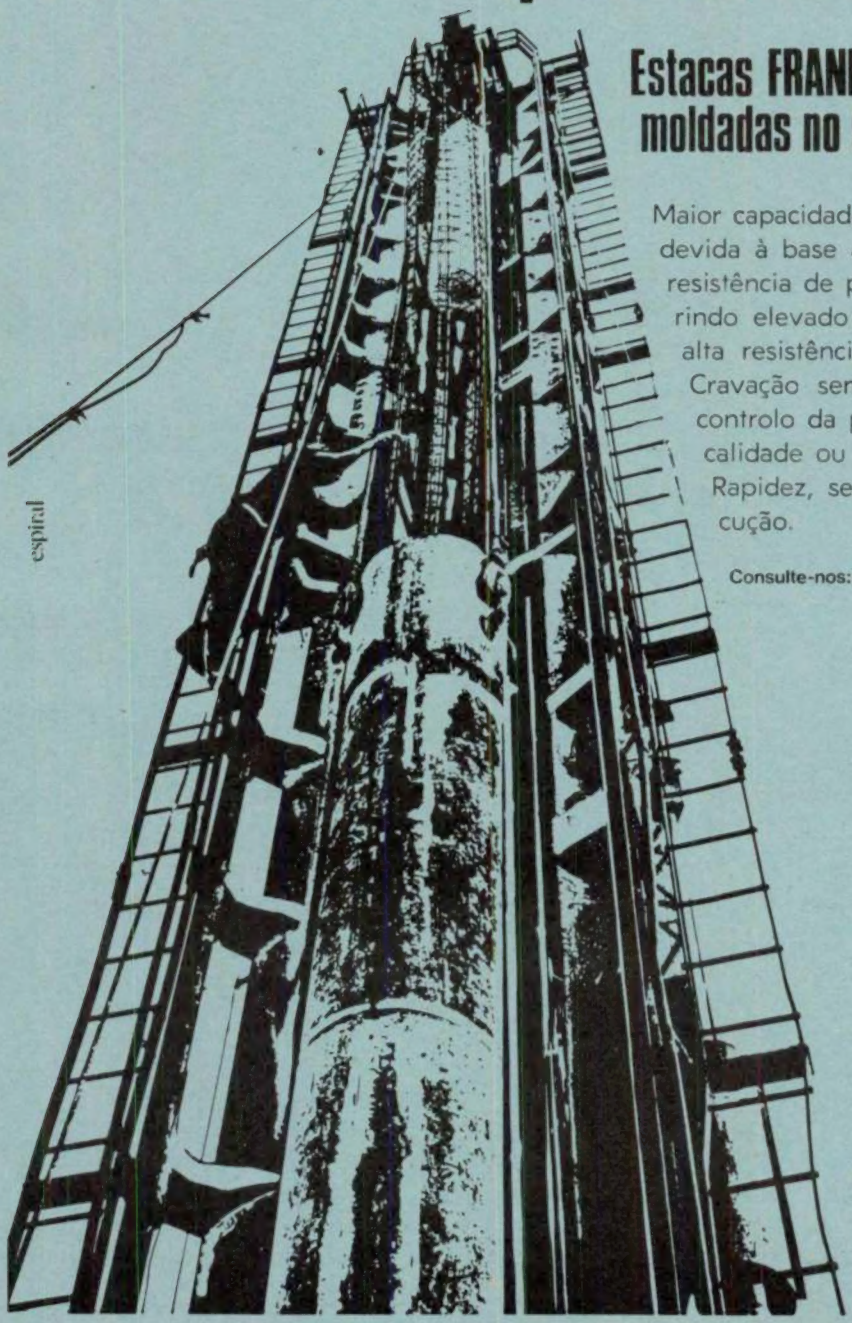
59 **Bibliografia**

CAPA: Máquina Hidráulica de Mr. Depuis — Gravura de Direx de 1755

ÍNDICE ALFABETICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXXI
Aguiar e Melo, Ltd.	XXXIV
Auto-Lusitânia	2.ª da capa
Atlas-Copco	XXV
Bayer	XV
Centro Técnico Hospitalar	XXXIII
Cimento Secil	2.ª da capa
Cimianto	XXVI
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Construções Técnicas	XVII
Construções Schréder	XX
Electro-Arco, Lda.	II
Empresa de Cimentos de Leiria	XXXIII
Empresa Electro Cerâmica	XXVIII
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Guedes & Almeida, Lda.	VIII e XXVI
Harker Sumner	XXIV
Heliaço	2.ª da capa
Hoesch Portuguesa	XXVII
J. F. Azevedo e Silva	VII
Jayme da Costa, Lda.	XIX
Johann Keller	XXVIII
J. Roma	XXIII
Jomatel	XXX
Le Recherche	XXIX
Livros Técnicos	XXVII e XXXII
MAGUE	XIII
Mendes de Almeida, S. A. R. L.	XXI
Míele Portuguesa	XXXIII
Mobil Oil	XVIII
Novobra, Lda.	2.ª da capa
Plessey Automática Eléctrica Portuguesa	IV
Philips Portuguesa	V
ROMAR	XII
Sepsa	XIV
Siemens	4.ª da capa
Sociedade Portuguesa Cavan	VI
S. K. F. Lda.	XXII
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II
Sondagens Ródio, Lda.	XXVI
Sopecate	II
Standard Eléctrica	IX
Tudor	XXIII
Verlinde	XXXII
Wild Portugal, Lda.	III

uma base que lhe garante a segurança de uma técnica experimentada.



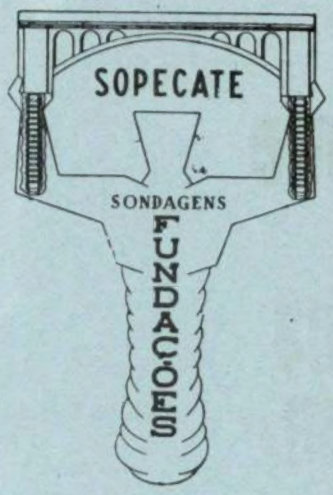
Estacas FRANKI, moldadas no solo.

Maior capacidade de carga das estacas Franki devida à base alargada assegurando grande resistência de ponta, ao fuste rugoso conferindo elevado atrito lateral e ao betão de alta resistência por apiloamento enérgico. Cravação sem extracção do terreno com controlo da profundidade a atingir. Verticalidade ou inclinações do máximo rigor. Rapidez, segurança e economia de execução.

Consulte-nos: FUNDAÇÕES FRANKI, LDA. — PORTUGAL

espiral

FRANKI



sopecate

sondagens - fundações

ESCRITÓRIO: RUA DO ARSENAL 146 2.º TELEFONES 3 40 10 - 32 02 08 LISBOA

- ESTUDOS, PESQUISAS E CAPTAÇÕES DE ÁGUA
- SONDAGENS GEOLÓGICAS
- REBAIXAMENTO DE NÍVEIS AQUÍFEROS
- FUNDAÇÕES

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA - 1
- TELEF. 56 11 71/72/73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

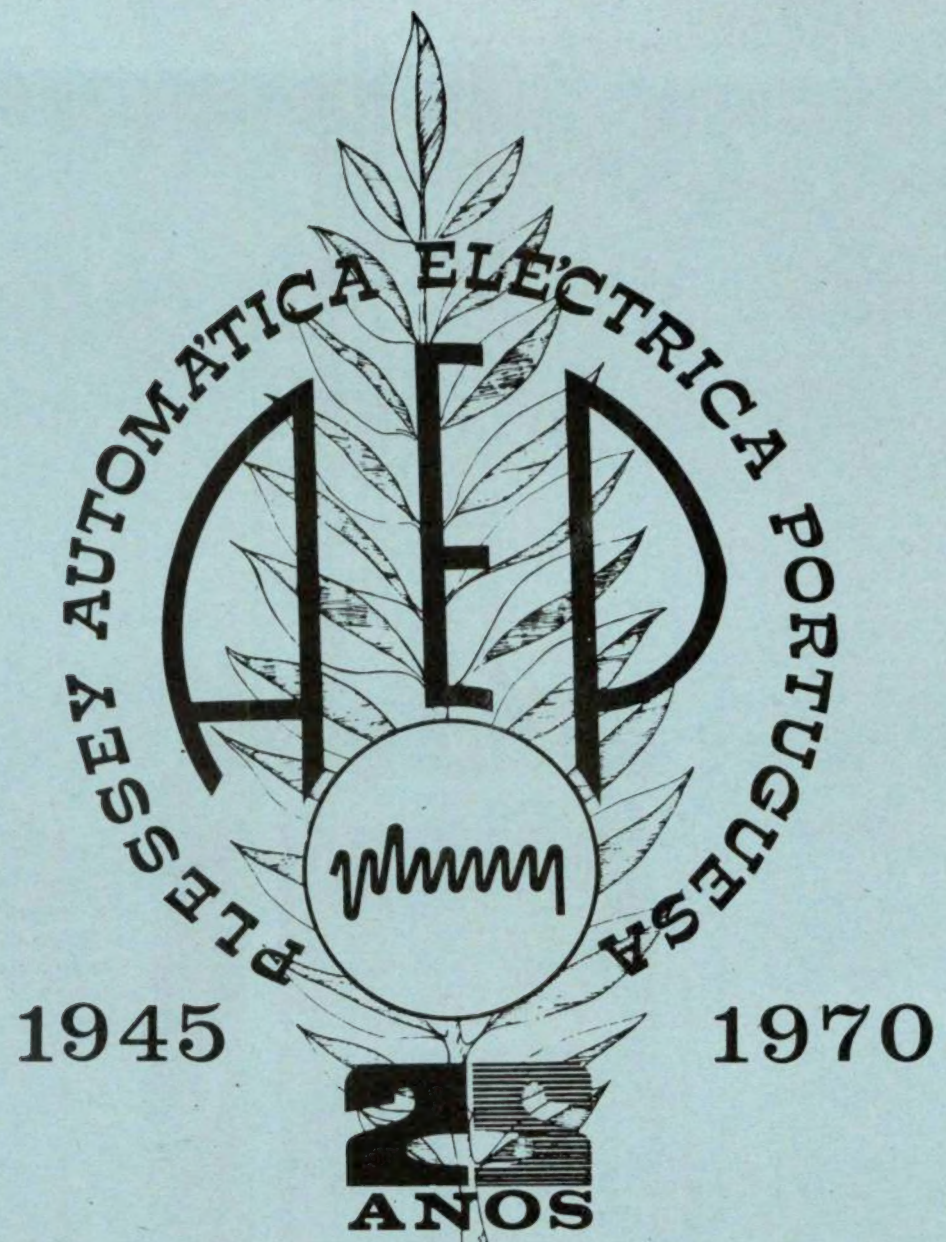
—

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73

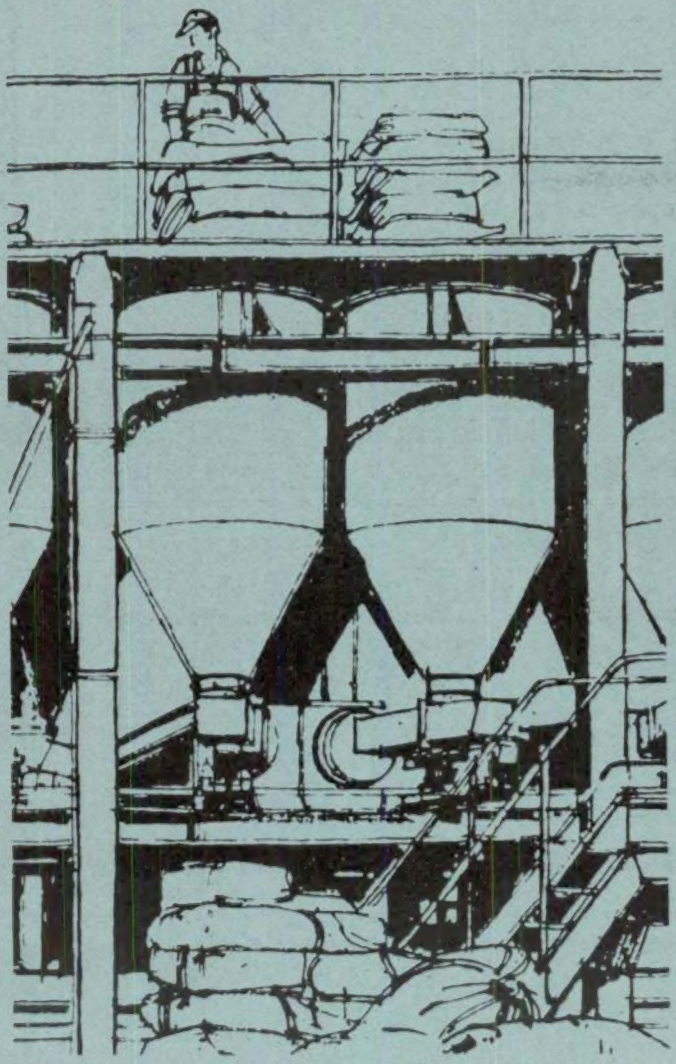
Temos apenas uma qualidade:
Primeira.
WILD
HEERBRUGG
SWISS
Os estojos de desenho WILD são confeccionados de aço crómio polido inoxidável.
Isto significa precisão, mesmo após uso de longos anos.
Um exemplo da mais alta perfeição: O traçado direito e preciso do compasso WILD. O mesmo possibilita um trabalho seguro. A posição do ângulo pode ser fixada com rapidez e segurança sem a mínima folga nas pernas do compasso.
A aplicação de materiais sòmente da melhor qualidade e o máximo cuidado no acabamento, justificam a reputação mundial de primeira qualidade, Made in Heerbrugg.
WILD
HEERBRUGG
Aparelhos para Fotogrametria
Aparelhos topográficos
Microscópios

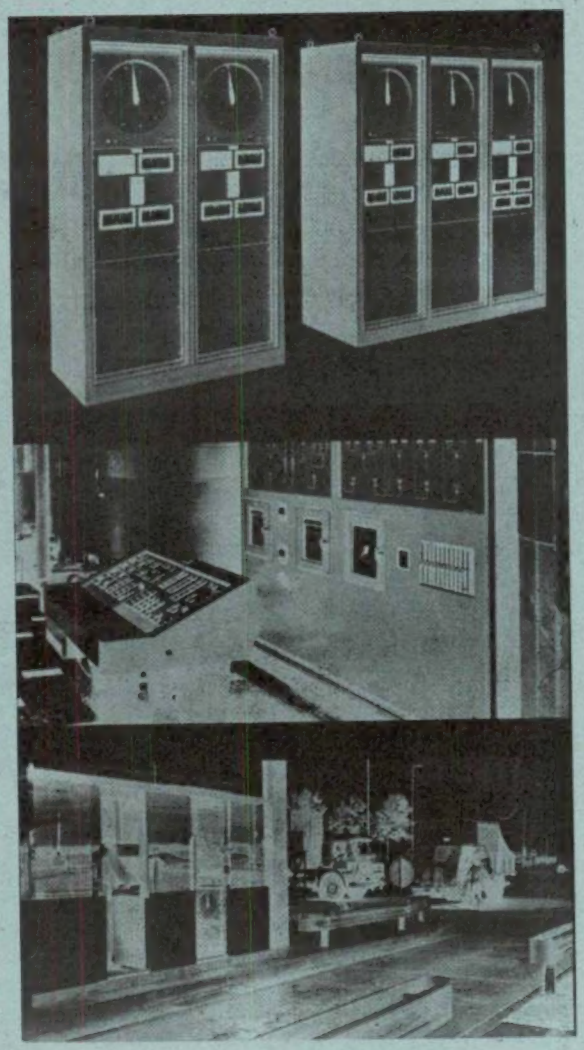


AO SERVIÇO DAS TELECOMUNICAÇÕES

fabricantes de:

telefones de vários tipos • estações automáticas completas STROWGER e CROSSBAR • equipamento de TELEX • comutadores manuais • PPC (PBX), CAP (PAX) e PPCA (PABX) • memórias magnéticas para computadores electrónicos •••••





Mais de 5000 instalações de pesagem electrónica

em uso em todo o mundo foram concebidas e realizadas pelos engenheiros da Philips. Muitas trabalham em meios ambientes altamente agressivos — que fariam fracassar qualquer sistema de pesagem mecânica se alguém tivesse a ideia de os fazer trabalhar em tais condições.

Os sistemas de pesagem electrónica Philips são estanques ao pó e à humidade e insensíveis ao choque e às vibrações. Têm uma vida pràticamente ilimitada, mantendo-se a sua precisão ao longo do tempo. As células de pesagem, devido às suas reduzidas dimensões, tornam muito fácil a montagem mesmo em espaços exíguos.

Não requerendo as alavancas normalmente usadas na pesagem mecânica, a pesagem electrónica poupa espaço e dinheiro, dado que não exige fundações caras.

As ligações entre as células de pesagem e o aparelho indicador fazem-se por meio de cabos eléctricos o que permite tornar a posição daquele independente do local da pesagem.

O equipamento de pesagem Philips é de concepção modular possuindo entrada e saída digitais.

Se necessitar de um sistema de pesagem em plataforma, em tanques ou silos, em telas transportadoras ou de um equipamento para doseamento automático de produtos, peça informação detalhada à

DEPTº INDÚSTRIA

PHILIPS

PHILIPS PORTUGUESA, S.A.R.L.

AV. DUARTE PACHECO, 6 - LISBOA - TELEFS. 65 45 21/8 • RUA FERNANDES TOMÁS, 760-764 - PORTO - TELEFS. 2 74 47/8/9

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

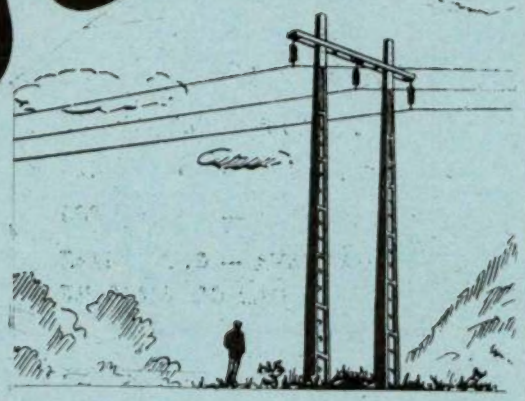
CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

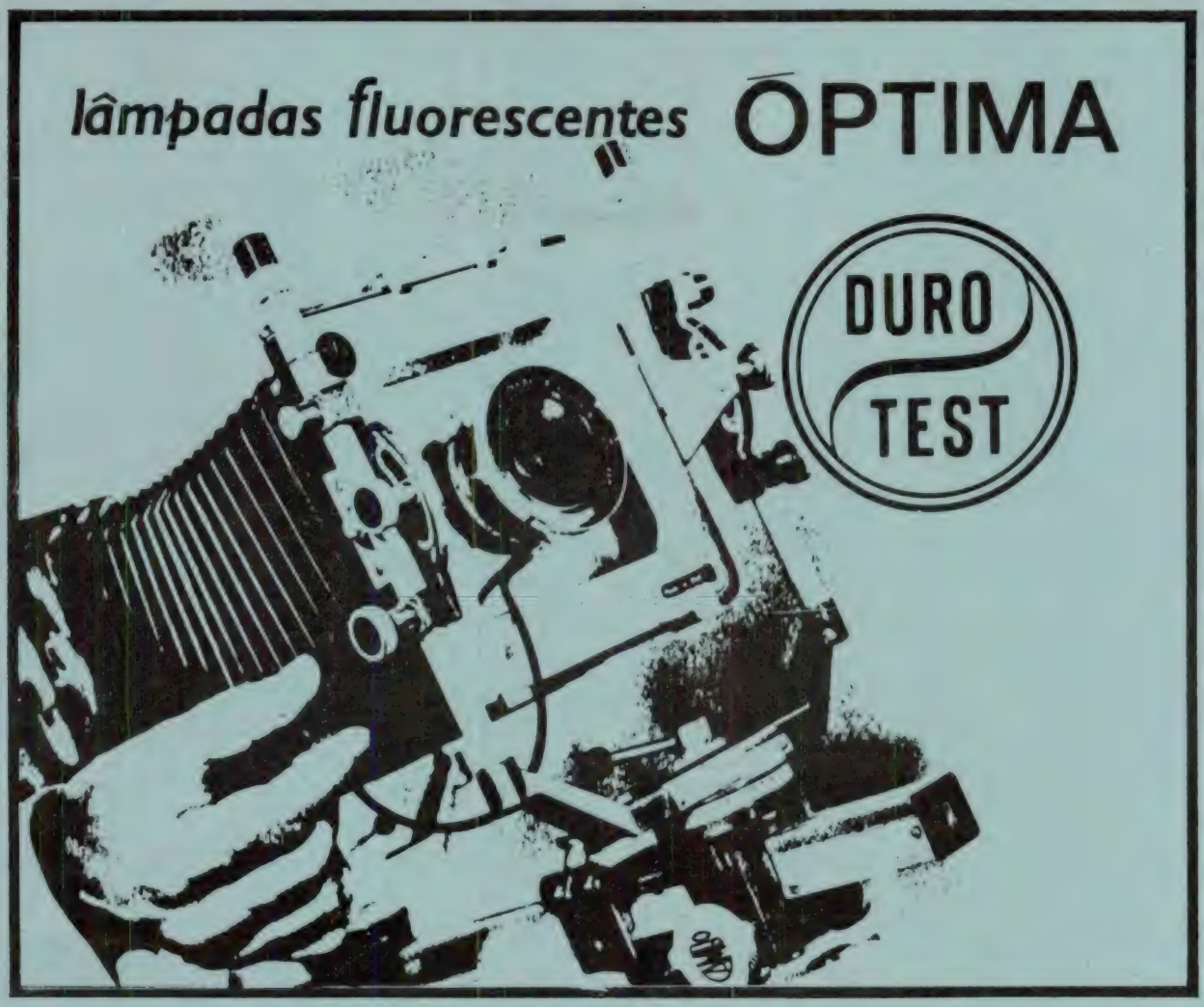
No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 32 73 77 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS
COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

SOCIEDADE PORTUGUESA **Carvam**



RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A-LISBOA-1-TELEF. 47812-50129



A única fonte luminosa artificial que reproduz as condições da natureza proporcionando uma luz difusa com 5.500º Kelvin de temperatura de côr, ideal portanto para todos os trabalhos de fotografia a cores,

Foram realizados ensaios utilizando cartas padrão Kodak, de côr e de cinzentos, e filme Ektachrome Daylight, os quais revelaram não existirem diferenças sensíveis entre diapositivos obtidos no exterior às 12 horas em dia descoberto, e diapositivos obtidos em interior, sem mistura de outras fontes luminosas e nas mesmas condições de velocidade de obturador e abertura de diafragma, mas sob a acção de luz directa da iluminação fluorescente OPTIMA.

Peça hoje mesmo uma demonstração sem compromisso ao representante exclusivo para todo o território Português.

JF

J. F. DE AZEVEDO E SILVA & C.ª, L.DA
Rua S. Francisco de Sales, 2 — Telefone 65 41 65 — Lisboa 1

WABCO

WESTIN'GHOUSE
AIR BRAKE COMPANY

Construction Equipment Division
Peoria (Illinois) Lisboa

MOTO-SCRAPERS AUTO-CARREGADORES

CAPACIDADE DE 11, 21 E 31 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...

Escarifica... Carrega... Transporta... Descarrega... Em terrenos de toda a natureza!

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA LDA.

Rua Áurea, 181-2.º — LISBOA-2 — TELEFS. 32 50 80 e 32 78 45

A STANDARD ELÉCTRICA PROJECTA-SE NO MUNDO

Na vanguarda da indústria das Telecomunicações e Electrónica, a Standard Eléctrica, dimensionada ao âmbito mundial, ocupa uma prestigiosa posição nos mercados estrangeiros. A eficiência de uma administração actualizada, a capacidade técnica dos seus engenheiros e o profissionalismo com que todos os empregados encaram as suas responsabilidades, são valores reais e positivos que, de maneira decisiva, contribuem para o engrandecimento da Standard Eléctrica e da indústria nacional. Associada da International Telephone and Telegraph Corporation, um conjunto mundial com cerca de 200 fábricas localizadas em mais de 60 países, a Standard Eléctrica fabrica numerosos produtos, desde os minúsculos transistores e circuitos integrados às grandes centrais telefónicas de serviço público, que são exportados para mais de 30 países entre os quais se destacam: Inglaterra, França, Alemanha, Espanha, Suécia, África do Sul, Brasil e Estados Unidos da América do Norte.

Standard Eléctrica

ITT

TG

FRIO CALOR

Celulite

O material mais usado no isolamento térmico das construções

SETH, LDA. · Rua Filipe Folque, 10-1.º · Lisboa · Tel. 53 01 56

PARA COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA USE:

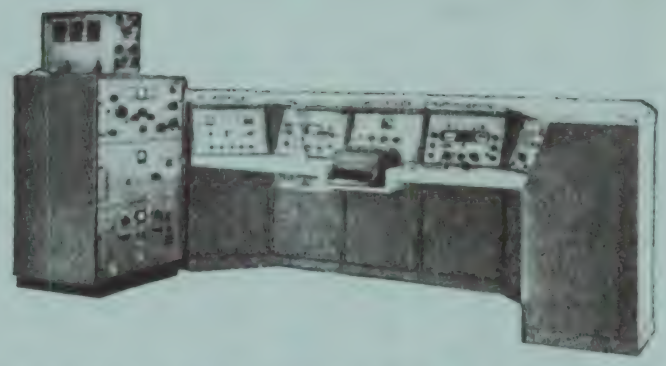
EMPRESA DE PRODUTOS ASFÁLTICOS
IMEPA
IMPERMEABILIZADOR

EMPRESA DE PRODUTOS ASFÁLTICOS
BRANQUEPA
COLAS BRANCAS

Também próprio para:
impermeabilizar terrenos,
paredes, fundações, etc.

FÁBRICA EM SACAVÉM

RUA FILIPE FOLQUE-10 1º— LISBOA
TELEF. 53 01 56 —TELEG. EPALDA-LISBOA



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

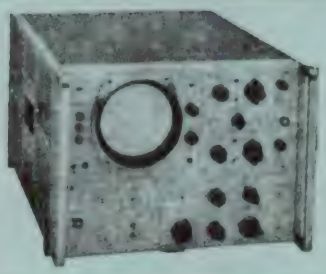
HEWLETT **PACKARD**

aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador digital Dymec

Registador Sanborn

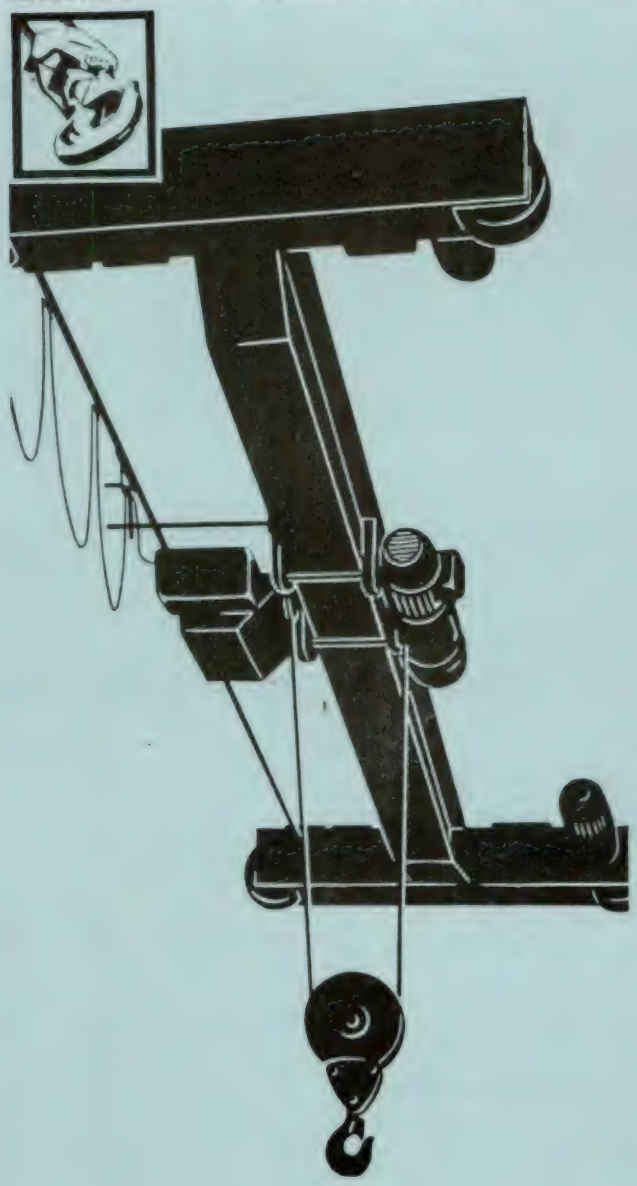


Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

DEMAG EQUIPA TODA A INDUSTRIA



Pontes rolantes fabricadas em cadeia . . .

As pontes rolantes Standard são fabricadas em série, nos tipos monoviga e biviga, pelo sistema de combinação de peças normalizadas.
Para vãos até 28 m e capacidades de carga de 250 kg a 20.000 kg permitem a adaptação às vossas condições de trabalho.

Reduzido peso próprio, pequena altura de construção, prazos de entrega rápidos, preços excepcionalmente baixos, eis as vantagens das pontes rolantes standard «Demag»:
Consulte-nos e os nossos engenheiros efectuarão o estudo do seu problema gratuitamente.
Assistência exemplar - O vosso sucesso será também o nosso.

ROMAR — UMA ORGANIZAÇÃO AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA

SOCIEDADE COMERCIAL ROMAR, LDA.

LISBOA – TRAVESSA DA GALÉ, Nº 9 TEL. 635670 / 634061 • PORTO – R DE SA DABANDEIRA, Nº 589/603 TEL. 25871/32208

técnica

NUMERO 401 OUTUBRO DE 1970 ANO XLVI VOLUME XXXIII PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 061.6 : 624/628

O PAPEL DOS LABORATÓRIOS NA ENGENHARIA CIVIL*

por MANUEL ROCHA**

RESUMO

Procura dar-se uma visão de conjunto sobre a contribuição que os laboratórios hoje dão para a resolução dos problemas de engenharia civil. É referido o estudo dos materiais, a averiguação das acções a considerar no projecto, a definição das formas a dar às obras, o estudo dos processos de construção a seguir, e a verificação do comportamento das construções. Aborda-se ainda o problema dos tipos de laboratórios em face da satisfação das necessidades da indústria da construção.

SYNOPSIS

The paper gives an overall view of today's contribution of laboratories to the solving of civil engineering problems. It concerns the study of materials, the investigation of the actions to be considered in the design, the definition of shapes for the constructions, the study of the construction techniques to be followed, and the observation of the behaviour of the constructions. The problem of the types of laboratories is also tackled with a view to meeting the needs of the industry of construction.

Sinto-me muito honrado e sensibilizado por ter sido distinguido pelo convite para falar nesta cerimónia dedicada a marcar a inauguração do Raymond E. Davies Hall. Compreenderão a emoção de quem vem do distante Portugal tomar a palavra, em tal momento, no país que ainda há pouco levou a cabo o maior feito do Homem e numa Universidade que é o maior conglomerado de saber que jamais existiu e que tanto está contribuindo para modelar o futuro deste país. Acresce que desde que iniciámos o nosso Laboratório em Lisboa — já lá vão mais de 20 anos — temos procurado desenvolver estreita cooperação com o Departamento de Engenharia Civil, o qual ao longo deste período tem mantido posição do maior destaque, quer na investigação, quer no ensino da engenharia civil. E é oportuno referir que o primeiro professor do Departamento que nos visitou foi o Professor Raymondi Davies a quem todos os de nós que têm tido o privilégio de o conhecer dedicam a maior admiração e estima pela sua tão rica e inconfundível personalidade.

1. Quanto ao tema da minha oração — O papel dos laboratórios na engenharia civil — começarei por referir que tenho tido a oportunidade de observar esse papel em países com os mais diversos graus de desenvolvimento. Tenho verificado que, tal como aconteceu na evolução histórica da engenharia, em que o primeiro laboratório foi criado para servir a engenharia civil — trata-se do «Laboratoire des Ponts et Chaussées», de Paris, instituído em 1851 e destinado ao estudo de materiais de construção —, ainda hoje nos territórios em vias de desenvolvimento são os laboratórios destinados a apoiar as realizações do engenheiro civil aqueles cuja necessidade se faz sentir em primeiro lugar.

* Discurso de inauguração dos novos Laboratórios do Departamento de Engenharia Civil da Universidade da Califórnia, Berkeley.

** Director, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

E tal é consequência do desenvolvimento de um território ter de começar pela criação de infra-estruturas, isto é, por obras de engenharia civil, as quais, pela sua natureza, não podem ser importadas. Têm de ser executadas localmente, assim se criando condições para o desenvolvimento de laboratórios de engenharia civil. À medida que um território se desenvolve cada vez o projecto e a execução de obras tira maior proveito da acção dos laboratórios. Considero, no entanto, que mesmo nos países mais evoluídos não são em regra plenamente aproveitadas as tão variadas possibilidades, que adiante referirei, oferecidas pelos métodos experimentais, mesmo no respeitante ao aproveitamento das capacidades dos laboratórios já existentes.

Vejamos então em que é que os laboratórios podem ser úteis à engenharia civil, à qual incumbe a produção e conservação de edifícios e obras públicas e, por vezes, mesmo a exploração das obras construídas.

Os laboratórios dão a sua contribuição em relação aos materiais a usar, às acções exteriores a considerar, às formas a adoptar, aos próprios processos de construção a seguir, e compete-lhes ainda a tarefa de verificação do comportamento da obra, isto é, do produto final da indústria da construção.

Ao falar da contribuição dos laboratórios desejo esclarecer que nela incluo a variada gama de actividades que vai desde o simples ensaio de rotina até à investigação destinada a servir a engenharia civil. E é oportuno frisar que cada vez melhor se consegue planear e conduzir a acção de investigação de modo a desta derivarem, mesmo a curto prazo, reais benefícios. Acresce que o trabalho de laboratório, isto é, a experimentação, conduz naturalmente à investigação pois que, como afirmou de maneira tão incisiva o Professor italiano Arturo Danusso, «. . . cabe ao experimentador a honra de receber directamente a voz da Natureza para depois a interpretar. Esta voz, quando escutada com humildade, ensina muitas coisas, rectifica previsões e destrói esquemas prévios, ao mesmo tempo que sugere outros».

2. O estudo dos materiais, que, até fins do século passado, constituía a quase exclusiva atribuição dos laboratórios, continua sendo hoje uma das mais volumosas e frutuosas actividades dos laboratórios destinados a apoiar a engenharia civil. Na verdade, são os laboratórios que permitem caracterizar as variadíssimas propriedades dos materiais de que depende o sucesso das obras, tais como a resistência sob acções estáticas e dinâmicas, a permeabilidade a líquidos e gases, as variações de dimensões resultantes de variações de temperatura e humidade e de acções químicas, as propriedades térmicas, as propriedades acústicas, a resistência ao fogo, a durabilidade sob a acção de agentes químicos e biológicos, e mesmo as características estéticas, como a cor.

Muitos ensaios, em especial os ensaios mecânicos, visam a determinação de propriedades a partir das quais, por meio de teorias, é possível prever o comportamento dos materiais em obra. Quando não se dispõe de teoria de previsão adequada, tem de se lançar mão a ensaios que simulem as acções a que os materiais se encontrarão submetidos em obra, quer as provenientes do meio físico ambiente, quer do utilizador. Por vezes tem mesmo de se recorrer a ensaios «in situ», em especial para ser possível ensaiar volumes suficientemente grandes para serem representativos, como acontece com frequência quando há a tratar problemas respeitantes a solos e rochas.

No que respeita aos materiais, podem distinguir-se os três seguintes tipos de contribuições dos laboratórios: *i*) os ensaios destinados à prévia selecção e definição de características dos materiais a usar em cada obra, em particular dos materiais como o betão e materiais para aterros, que serão fabricados no estaleiro, isto é, sob a responsabilidade do engenheiro civil; *ii*) os ensaios de recepção de materiais durante a construção, quer dos produzidos em fábrica, quer em estaleiro; *iii*) a investigação destinada a conhecer e a melhorar as propriedades dos materiais disponíveis e a descobrir novos materiais.

Apesar de nas obras do engenheiro civil ainda persistir a utilização de numerosos materiais tradicionais, verifica-se a introdução a ritmo acelerado, e que certamente se acentuará no futuro, de novos materiais, sobretudo na construção de edifícios, o que confere cada vez mais relevância ao papel desempenhado pelos laboratórios. Na verdade, esta explosão de novos materiais não permite

solicitações de carácter aleatório sobre as estruturas, e a busca de um melhor conhecimento dos fenómenos de erosão.

No que respeita à hidráulica marítima, os laboratórios prestam larga colaboração, em especial no estudo da agitação nas zonas a proteger com obras portuárias, da acção das vagas sobre as estruturas, em especial molhes e esporões, da dinâmica e da evolução dos fundos de estuários, incluído o complexo problema da sedimentação das vasas, e, finalmente, referirei o problema da conservação das praias que está assumindo cada vez mais importância.

No estudo dos problemas marítimos a ondulação era, até há poucos anos, simulada nos modelos por meio de ondas monocromáticas. Nos últimos tempos tem-se procurado uma simulação melhor ajustada à realidade, introduzindo nos modelos uma ondulação constituída pela sobreposição de ondas com diversas amplitudes e frequências, tal como na Natureza. Os modelos também estão permitindo a determinação das acções mecânicas, de carácter aleatório, exercidas sobre as estruturas marítimas.

No respeitante aos problemas de agitação, estão sendo feitos progressos no tratamento analítico dos fenómenos de difracção, refracção e reflexão que estão permitindo simplificar e poderão vir a dispensar a realização de ensaios.

Na hidráulica fluvial os modelos prestam também relevantes serviços no estudo dos problemas de controle de cheias, de navegação, de estabilidade de leitos, e de transporte sólido, por arrastamento e em suspensão. Alguns dos problemas de escoamento com fundo fixo podem já ser abordados com vantagem por via analítica, quando as condições não são complexas. No domínio dos escoamentos com transporte sólido, os modelos, devidamente calibrados por comparação com os protótipos, constituem uma ferramenta indispensável. No entanto, nos últimos anos, graças ao progresso no tratamento dos processos estocásticos, possibilitado pelos computadores, foi retomado, com perspectivas de êxito, o estudo dos fenómenos do transporte sólido em termos probabilísticos.

Não quero deixar de mencionar a contribuição dos laboratórios para a resolução de problemas de engenharia sanitária, como os postos pelas redes de abastecimento de águas e esgotos, pelos dispositivos sanitários em edifícios, e pela poluição de águas por afluentes domésticos e industriais.

No que respeita à contribuição dos modelos para a definição das formas e dimensões a dar às construções, referimos em primeiro lugar os modelos estruturais e depois os modelos hidráulicos. O projectista pode ainda tirar proveito de modelos puramente funcionais, isto é, destinados a averiguar se dada função de uma obra é devidamente desempenhada. Tais modelos têm especial interesse nos estudos de edifícios, domínio no qual há a satisfazer numerosas condições além da resistência estrutural. Assim, são usados modelos no estudo da acústica de salas, da insolação e iluminação natural, da ventilação, etc.

Os modelos de quaisquer dos variados tipos que temos vindo a referir podem ser utilizados, quer para a verificação de dada solução prevista pelo projectista e colheita de sujestões para o seu aperfeiçoamento, quer para a tarefa de investigação de novas formas a dar às construções, sob os múltiplos aspectos que interessam ao engenheiro, quer ainda para a verificação de teorias de previsão do comportamento das construções.

5. Dentro da concepção de investigação integrada que adiante referiremos, verifica-se que os organismos de investigação começam, nos últimos anos, a ocupar-se também dos problemas levantados pela própria construção das obras. A investigação está cobrindo não só a fase de execução mas também os problemas de gestão levantados pela indústria da construção. Mais do que isso, em certos países a actividade de investigação está-se mesmo estendendo à economia aplicada à engenharia, tratando-se problemas como o planeamento, num dado território, das realizações a empreender de modo a optimizar a utilização dos meios disponíveis, a satisfação de necessidades por meio de equipamentos evolutivos, como por exemplo no caso de edifícios para habitação e de estradas, a obsolescência dos equipamentos, etc.

No respeitante à gestão estão sendo tratados todos os problemas relativos à execução da construção, como o planeamento da obra, a sua programação, a elaboração de propostas, a contabilidade de custos para previsão e verificação do custo da construção, e a produtividade global e de cada um

dos trabalhos da obra. Na investigação dos problemas da gestão estão sendo dados os primeiros passos para o desenvolvimento de um sistema de gestão integrada.

Quanto à fase de execução, a investigação está cobrindo o desenvolvimento de equipamento e os métodos e técnicas de execução, áreas estas nas quais se oferecem amplas perspectivas de sucesso.

6. Finalmente, após ter sido referida a participação dos laboratórios no respeitante aos materiais, às acções sobre as obras, às formas destas e aos processos de construção, vejamos qual a sua contribuição para a observação do comportamento das construções.

A observação consiste na colheita sistemática de informações sobre o comportamento estrutural e funcional, com vista: *i*) a verificar a justeza das previsões contidas no projecto da obra em observação, e consequentemente, julgar o mérito do património de conhecimentos em que o projectista se apoiou; e *ii*) a obter novos conhecimentos, a aproveitar em futuras realizações.

Os projectistas, construtores, utilizadores e entidades responsáveis pela exploração das obras participam, em graus vários conforme os casos, na tarefa de observação mas esta exige muitas vezes pessoal e meios experimentais especializados que obrigam à intervenção dos laboratórios, em particular quando a observação visa o alargamento de conhecimentos.

Quanto à tarefa de observação, referiremos em primeiro lugar a observação do comportamento dos materiais, em especial a averiguação da evolução de propriedades no tempo que possa ter repercussões desfavoráveis no comportamento estrutural ou funcional.

Uma das mais relevantes contribuições dos laboratórios para a observação das obras tem sido a observação do comportamento estrutural, a qual interessa por vezes empreender mesmo no decorrer da construção. De um modo geral, a apreciação do comportamento estrutural implica a observação dos efeitos das solicitações, isto é, deslocamentos, deformações e tensões, assim como a observação das próprias solicitações actuantes na estrutura tais como o peso próprio, pressões exercidas pelo vento, aceleração de sismos, assentamento de fundações e variações da temperatura. Além disso, a interpretação dos resultados da observação exige, em regra, a determinação, em laboratório, de diversas propriedades dos materiais da estrutura, em especial das propriedades mecânicas e termo-higrométricas.

Como apreciação global da actividade de observação do comportamento estrutural conduzida pelos laboratórios, considero que na maior parte dos domínios tem sido insuficiente. É particularmente magra a informação de que se dispõe sobre o efeito de solicitações cuja probabilidade de ocorrência é baixa, tais como sismos e ventos de elevada velocidade. Penso que a observação do comportamento estrutural devia ser empreendida mais largamente, tanto mais que a tarefa de observação está presentemente muito facilitada pelos desenvolvimentos realizados nos últimos anos no domínio da aparelhagem de medida. A intensificação da observação concorrerá não só para o progresso dos conhecimentos mas também para o amadurecimento da formação dos intervenientes no projecto e execução das estruturas, dada, diremos, a visualização que proporciona dos fenómenos do funcionamento estrutural.

Terminarei a referência que tenho estado a fazer à contribuição dos laboratórios para a observação das construções mencionando ainda a observação do comportamento funcional, isto é, respeitante à utilização da obra. Neste domínio há numerosas observações que podem ser feitas pelos utilizadores e pelas entidades que exploram as obras, tais como a observação da adequação dos espaços de um edifício às funções que este deve desempenhar, das infiltrações numa obra hidráulica ou do tráfego numa estrada, mas há muitas outras observações para cuja realização os laboratórios estão especialmente preparados. Será, por exemplo, o caso da observação quantitativa das condições de conforto oferecidas por um edifício, da derrapância e outras características do pavimento de estradas, etc.

Acabámos de passar em revista as contribuições dos laboratórios para a solução dos problemas da engenharia civil. Apesar de não ter podido senão abordar superficialmente o tema, acho que ficou bem evidente a extrema diversidade dessas contribuições e a sua relevância.

7. Será oportuno referir brevemente os tipos de laboratórios que prestam apoio à engenharia civil e o papel que desempenham.

Menciono em primeiro lugar os laboratórios que se ocupam sòmente de ensaios de rotina. Entre estes há a considerar os laboratórios comerciais de ensaios de materiais e de modelos e os laboratórios de estaleiro destinados a apoiar a fiscalização da execução das obras.

O outro tipo de laboratório, que desejaria analisar com certo pormenor, é aquele em que é empreendida actividade de investigação, associada por vezes a actividade de desenvolvimento. São muito diversas as índoles dos laboratórios de investigação no respeitante a política de investigação, extensão do domínio coberto, dimensão e vinculação.

No tocante à política de investigação seguida, classificarei os laboratórios em dois grupos: os que se ocupam de dadas disciplinas e os que empreendem investigação que designo por integrada.

A investigação conduzida nas Universidades é em regra de natureza disciplinar, o que resulta de facto de as Universidades terem, naturalmente, como células da sua estrutura as disciplinas do conhecimento.

A investigação integrada, isto é, aquela que visa a solução de problemas com apoio em todos os conhecimentos disponíveis, independentemente das disciplinas envolvidas, é em regra conduzida por organismos do sector público, pois na indústria da construção não se verificam condições favoráveis à existência de órgãos de investigação integrada no sector privado, contràriamente ao que ocorre na maior parte das restantes indústrias. Dada a grande extensão e diversidade dos campos cobertos pela engenharia civil, a investigação integrada tem de ser conduzida nos países com maior dimensão económica em laboratórios que cobrem sòmente um ramo da indústria da construção, tal como edifícios ou estradas ou aproveitamentos hidráulicos. No entanto, em países com menor dimensão económica, como Portugal, considero possível concentrar a investigação na engenharia civil, conduzida de maneira integrada, num só laboratório de grande dimensão, diremos como um quadro da ordem de um milhar de pessoas.

Dentro do conceito de investigação integrada, os organismos que dela se ocupam tanto empreendem trabalho de natureza experimental como teórica e por isso será preferível designá-los por institutos em vez de laboratórios, apesar de predominar, no caso da engenharia civil, a actividade de natureza experimental.

Estou considerando esta matéria dos tipos de organismos de investigação porque ela é de grande importância do ponto de vista do tema que estou tratando, isto é, do papel dos laboratórios na engenharia civil. Na verdade, um instituto de investigação integrada, pela sua própria natureza, tem de manter actualizada a apreciação global das necessidades presentes e futuras do ramo da indústria da construção que é seu mister apoiar, tem de procurar dispor dos meios humanos e materiais exigidos pela sua satisfação e não pode deixar de se preocupar com a efectiva utilização dos resultados da sua actividade, quer através de acções de difusão, quer de desenvolvimento. A referida apreciação global de necessidades tem o maior interesse pois permite uma repartição judiciosa da capacidade de investigação disponível, evitando que seja dada atenção excessiva a certos problemas e, sobretudo, a omissão de outros que podem não ser atraentes mas que são importantes.

A investigação integrada facilita o estabelecimento de uma associação íntima das actividades de investigação com a prática, sobretudo se os institutos em que é empreendida, além da actividade de investigação planeada, também se prestem a dar a sua colaboração na solução de problemas postos individualmente por projectistas e construtores, e mesmo na realização de ensaios de rotina. Penso ser esta a boa solução, desde que sejam respeitadas certas proporções, que variam de caso para caso, entre os volumes dos vários tipos de actividades.

O diálogo permanente entre a investigação e a prática tem duas consequências com a maior projecção. Em primeiro lugar, ele é indispensável para os organismos de investigação poderem adquirir uma compreensão clara do contexto técnico, económico e social onde se deve inserir a sua acção, condição básica para a eficiência da investigação, desde a formulação dos problemas a resolver, à condução dos trabalhos, ao estabelecimento de conclusões e às medidas visando assegurar a utilização dos resultados. Em segundo lugar, o referido diálogo contribui para uma mentalização dos

projectistas e construtores que os leva a poderem dar uma melhor contribuição para o estabelecimento de planos gerais de investigação e a tomarem uma posição mais receptiva perante os resultados da investigação. Além disso, essa mentalização contribuirá para evitar que sejam desperdiçadas as oportunidades que surgem no projecto e execução de cada obra para os institutos de investigação darem a sua colaboração na solução de problemas.

Dados os méritos da investigação integrada, considero que devem existir, em cada país, institutos de investigação integrada destinados a servir os vários ramos da indústria da construção e que, além disso, se deve procurar intensificar o grau de integração da investigação conduzida nas universidades. É no domínio dos edifícios, em especial dos destinados a habitação, que no momento presente mais se faz sentir em muitos países a necessidade de ser dado mais desenvolvimento à investigação integrada.

8. Ao falar-se em investigação põe-se o problema do grau de desenvolvimento que é pertinente dar-lhe. Não há muitos decénios tal questão não era formulada em termos globais, mesmo nos países mais avançados, deixando-se a sua evolução às iniciativas individuais. Mas, presentemente, dentro do crescente esforço da Humanidade para se determinar a si mesma, verifica-se um grande esforço para definir critérios que permitam estabelecer tão objectivamente quanto possível, dentro da óptica custo-benefício, o investimento que deva ser feito na investigação. Trata-se, como é óbvio, de problema muito complexo que implica a consideração, em cada país, de directrizes políticas, de planos de acção económica, da disponibilidade de quadros e ainda de outros parâmetros.

No caso da engenharia civil, verifica-se em países da Europa Ocidental, como a Grã-Bretanha e Portugal, que a despesa global com a investigação, do sector público e privado, atinge cerca de 0,5% do valor total das obras executadas, isto é, edifícios, incluídos os de habitação, e obras públicas. Nos Estados Unidos o valor total das obras executadas atingiu, em 1968, cerca de 85 000 milhões de dólares mas não consegui obter o valor da despesa global com a investigação. Se se admitir que esta atinge também 0,5% do valor das obras executadas, tal corresponderia a uma despesa anual com a investigação de 425 milhões de dólares. Este valor corresponderia a cerca de 40 000 pessoas envolvidas na investigação, supostas em «full-time». Suponho que este número não é atingido.

Os números apresentados mostram a importância que atinge hoje no Mundo o valor dos investimentos na investigação que serve a construção e portanto a necessidade de cuidar da eficiência da acção de investigação, não só pelo montante da despesa mas sobretudo pela grande repercussão que essa acção pode ter na indústria da construção. A investigação deve ser encarada tal como uma actividade industrial que tem de escolher cuidadosamente os produtos a fabricar, os métodos de produção a seguir e que não pode deixar de cuidar da venda dos seus produtos.

Quanto à fixação do grau de desenvolvimento a dar às actividades de investigação, creio que será hoje possível, graças à volumosa informação disponível, estabelecer para cada um dos grandes ramos da indústria da construção o investimento que convirá fazer, o qual variará de país para país.

Penso que na maior parte dos países se justifica, dentro de uma concepção custo-benefício, incrementar a actividade dos laboratórios que apoiam a indústria da construção, uma vez que a investigação seja conduzida aproveitando todo o vasto património de conhecimentos e experiência de que hoje se dispõe para assegurar a sua eficiência, em especial dentro da concepção de investigação integrada. A necessidade de expansão dos laboratórios é consequência da profunda modificação que se está operando na engenharia civil, a qual está passando ràpidamente de uma actividade essencialmente empírica, como se verificava ainda há alguns decénios, a uma actividade comandada pelo conhecimento científico.

C. D. U. 624.131.25 : 551.311.22

NOTE PRELIMINAIRE SUR UN INDICE D'ALTERABILITE*

par L. AIRES BARROS**

Laboratoire de Minéralogie et Pétrologie, Institut Supérieur Technique, Lisbonne-Portugal

RESUMO

Apresenta-se o processo geral que conduzirá à definição de um indice de alterabilidade a partir de ensaios de alteração acelerada realizados em laboratório sobre os minerais essenciais das rochas igneas e também sobre os principais tipos destas rochas com granularidades e texturas diferentes.

SYNOPSIS

The general process for definition of an alterability index is presented.

This index will be obtained after several laboratory aging tests on essential minerals of igneous rocks and also on the principal types of these rocks with different textures and granularities.

On a défini un indice de qualité micropétrographique (MENDES, AIRES-BARROS & RODRIGUES, 1966), qui permet de :

a) caractériser l'état d'altération des massifs rocheux ;

b) obtenir la corrélation entre cet état géotechnique et quelques grandeurs mécaniques (E et σ) des roches de ces massifs rocheux dont on essaie des échantillons au laboratoire ;

c) expliquer les valeurs de E et σ d'accord avec la composition minéralogique et la texture des roches que l'on étudie au microscope polarisant.

Tout en se basant sur l'analyse modale on a défini *k*, l'indice de qualité micropétrographique par :

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i x_i}{\sum_{j=1}^{m} p_j y_j} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

dont les *n* valeurs de x_i sont les pourcentages modales des minéraux «sains», avec incidence favorable dans le comportement mécanique des roches, et dont les *m* valeurs de Y_j sont les pourcentages modales des minéraux altérés ou des minéraux phyliteux qui montrent disposition orientée dans les roches, et aussi des microfissures et des vides, tous avec incidence défavorable dans le comportement mécanique des roches.

Tout récemment l'indice *k* a été appliqué à l'étude de l'anisotropie des roches endogènes. On a obtenu de bonnes corrélations entre les éllipsoïdes des indices micropétrographiques et les éllipsoïdes des tensions de rupture et les éllipsoïdes des modules d'élasticité (RODRIGUES & AIRES-BARROS, 1970).

Le degré d'altération d'une roche (m) est fonction de :

$$m = f\ (i,e) \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

où :

$$i = f_1\ (n,s) \qquad \text{et} \qquad e = f_2\ (\theta, ph, Eh, 1,b)$$

i, représente les facteurs intrinsèques à la roche, comme le type des minéraux (n) et la surface exposée à l'ataque (s) qui est fonction de la texture et de la microfissuration et microfracturation de la roche et aussi de la quantité de vides. *e*, représente les facteurs extrinsèques, comme la

---

* Comunicação apresentada na IV secção (Weathering phenomena of soils and rocks) do 1.º «International Congress of the International Association of Engineering Geology», realizado em Paris, sob os auspícios da UNESCO, de 8 a 11 de Setembro último.

** Trabalho realizado dentro do âmbito do projecto de investigação «Geoquímica da alteração experimental de rochas», subsidiado pelo Instituto de Alta Cultura do Ministério da Educação Nacional.

température θ, le ph, le Eh, le débit l des fluides de percolation et encore les forces biotiques b.

L'altérabilité (m_1) sera fonction d'un «temps humain» (t) qui est fondamental dans l'étude que nous concerne, vu que le temps de l'altération est principallement un «temps géologique» (T).

Ainsi :

$$m_1 = F(i, e, t, T) \quad . \; . \; . \; . \; . \qquad (3)$$

Si l'on considère que :

a) $k = F_1(n, s, t, T)$;

b) les facteurs extrinsèques e, peuvent être postulés au laboratoire par des essais accélerés d'altération des roches (essais de percolation libre intermitente, essais de vieillissement par agitation intermitente, essais de percolation forcée, essais de percolation dans des extracteurs de Soxhlet, essais de vieillissement par irradiation thermique, etc) ; on pourra chercher un indice d'altérabilité défine par :

$$k' = \frac{\partial k}{\partial t} \text{ significativement différent de zéro} \qquad (4)$$

Les essais de laboratoire en cours, en ce moment, fixent les facteurs extrinsèques e pour :

a) les minéraux éssentiels des roches ignées, voire les components des séries de Goldich (1938) :

b) les principaux types de roches ignées (granites alcalins, granites calcoalcalins, syénites, syénites néphéliniques, diorites, gabbros, basaltes à olivine et dolérites) ;

c) les trois principaux types de granularité (grain grossier, moyen et fin) d'un même type de roche ignée (syénite néphelinique).

A partir d'un grand nombre d'essais d'altération accélerée au laboratoire, dont on a fait briève mention, on peut mesurer les vélocités rélatives d'altération (pour des conditions exogénes définies à l'avance), des minéraux des séries de Bowen.

De même on étudie les taxes d'altération artificielle des principaux types des roches ignées (déjà mentionnées) et on determine l'influence de la grannularité, soit de la surface espécifique à l'ataque par les agents exogènes.

Les velocités rélatives d'altération seront determinées au moyen des essais physiques (variations du pH et de la résistivité) et chimiques (enrichissement en K^+, Na^+, Ca^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+} et en silice) des fluides de percolation et aussi des essais physiques (variations de porosité, de perméabilité à l'air et de susceptibilité magnétique, pertes de poids), chimiques (variations de composition) et minéralogiques des minéraux et des roches en étude.

Ces essais doivent permettre de determinar les incidences de la composition minéralogique (n) et de la granularité et microdiscontinuités (s) dans la vélocité d'altération. Les expériences accomplies sont encore en nombre insuffisant pour présenter des conclusions déjà définitives.

Mais supposons que, pour la série de minéraux en étude, on obtiendra la séquence de facteurs p_i :

olivine . . .	p_5	
augite	p_4	labrador
riebeckite . .	p_3	andésine
biotite	p_2	albite
muscovite . .	p_1	orthose
	p_0	quartz

et que l'influence de la granularité et des microdiscontinuités est mésurée par le facteur g_j :

roche à grain grossier, ...	g_2
» » » moyen, ...	g_1
» » » fin, ...	g_0

Si l'on admet que les essais d'altération expérimentale nous fourniront les facteurs p_i et g_j, on obtiendra l'indice d'altérabilité à partir de la composition modale micropétrographique qui nous permet de calculer k, si l'on fait :

a) le calcul de la composition modale de la roche,

b) la construction du Tableau I qui va nous permettre de determiner $k'_{min.}$ (1' indice d'altérabilité parciel ne se rapportant qu'à l'influence de la composition minéralogique).

L'indice d'altérabilité parciel k'_{min} est calculé par :

$$k'_{min.} = \frac{A}{A + B} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad (5)$$

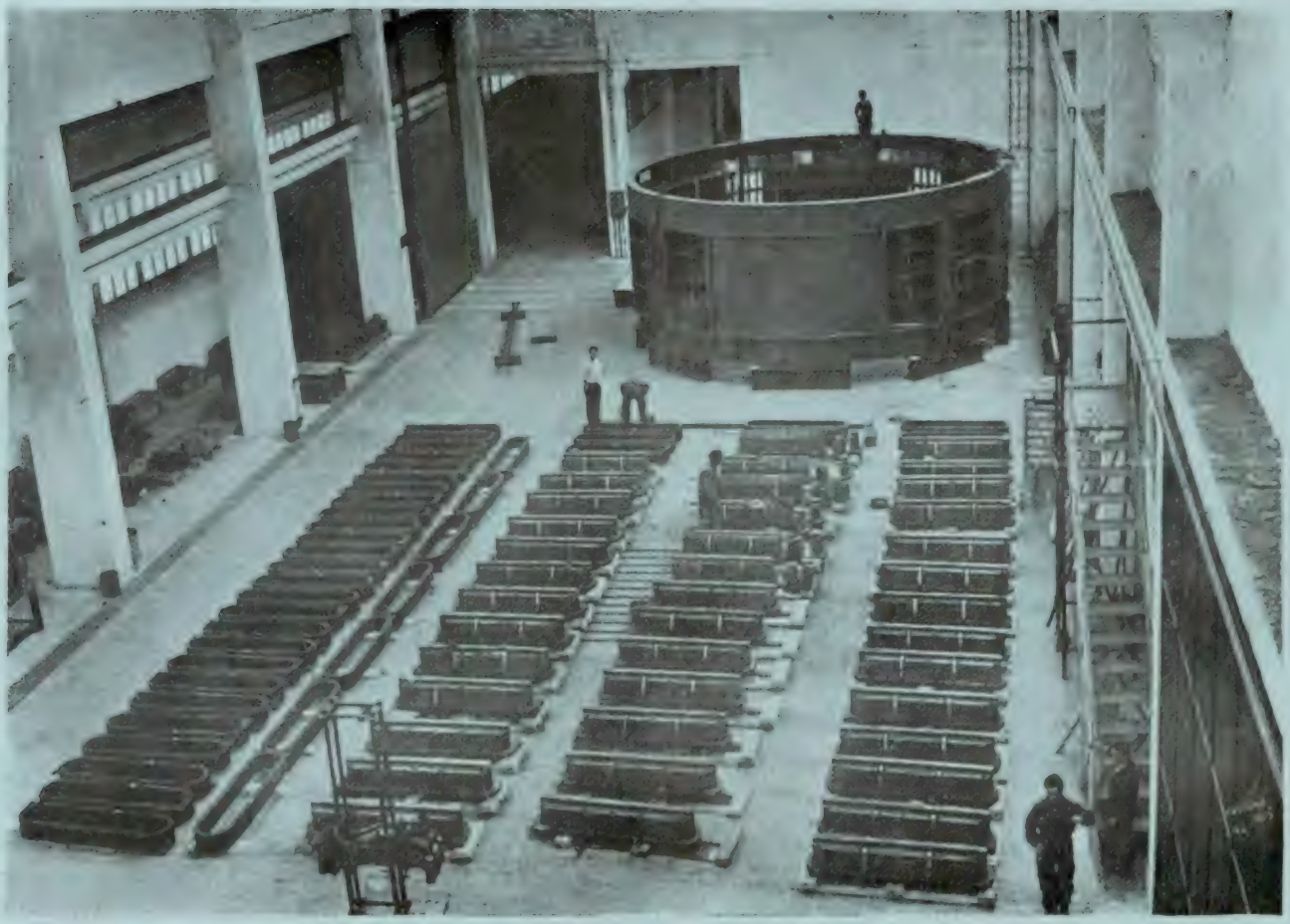
MAGUE

Cabrea flutuante de 100-60t-10t/15-26-28m fornecida à LISNAVE - Estaleiros Navais de Lisboa, S.A.R.L. , em serviço no Estaleiro Sul da Margueira

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L.

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL



SEPSA EM COLABORAÇÃO COM A ASEA
1.º PLANO – reparação de polos e bobines rotóricas de um alternador de 78 MVA, 15 KV
2.º PLANO – reparação do estator de um alternador de 72 MVA, 15 KV

Além de construtores de alternadores de potência superior a 2.000 kVA e de motores de c.c. ou c.a. de potência superior a 1.000 C.V., possuimos equipamento especializado para a reparação de máquinas eléctricas rotativas de grande potência incluindo equilibragem dinâmica, ensaios de rigidez de bobines, perdas dieléctricas de isolantes, ring test e medidas de rendimento.

SEPSA SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES ELECTRO-MECÂNICAS, S.A.R.L.
APARTADO 8 • LEÇA do BAILIO • TELEX SEPSA P 2616

TABLEAU I

Evolution de la roche dans le temps	Composition pondérée par les facteurs p_i des minéraux "sains"	Composition pondérée par les factures p_i des minéraux altérés	k'_{min}.
$t = t_0$ Roche à l'origine des temps	C	zéro	$k'_{min} = 1$
$t = t_1$ Roche dans l'instant géologique dont on l'étudie	A	B	$0 < k'_{min} < 1$
$t = t_{final}$ Roche à la fin de la décomposition totale	zéro	C'	$k'_{min} = 0$

Note 1: On calcule B à partir des minéraux primaires qui ont donné les minéraux altéres, tout en les ponderant avec les convénients facteurs p_i.

Note 2: $C = C' = A + B$.

Pour faire intervenir l'influence de la texture et des microdiscontinuités, voire de la surface éfective de réactivité par unité de volume, on doit prendre les facteurs g_j.

Dans l'état actuel de nos recherches on va admettre que:

$$g_j = 0{,}x$$

$$j = 0{,}1 \text{ ou } 2$$

$$x = 1{,}2, \ldots \text{ jusqu'à } 9$$

On peut mettre que l'indice d'altérabilité totale — k — será calculé par l'expression:

$$k' = k'_{min} - g_j \cdot k'_{min} \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

BIBLIOGRAPHIE

GOLDICH, S. S. (1938) A study in rock weathering *J. of Geol.* vol. 46, 17-58 Chicago.

MENDES, F. M.; AIRES-BARROS, L. & RODRIGUES, F. P. (1966) The use of modal analysis in the mechanical characterization of rocks masses Proc. *1st Congress Int. Soc. Rock Mechanics*, vol. 1, 217-223 Lisboa.

RODRIGUES, F. P. & AIRES-BARROS, L. (1970) Anisotropy of endogenetic rocks Proc. *2nd Congress Int. Soc. Rock Mechanics* vol. 1, 1-23 Beograd.

NOTA:

Na secção IV do «International Congress of the International Association of Engineering Geology», presidida pelo Dr. L. E. Oborn (Nova-Zelândia), em que este trabalho foi apresentado, o autor discutiu-o e prestou esclarecimentos aos Drs. Leleu (França) Fourmaintraux (França), Skinner (Nova Zelândia), Struillou (França), Franklin (Inglaterra) e Guidicini (Brasil).

NOTICIÁRIO

INTERKAMA 71

Terá lugar, de 14 a 21 de Outubro de 1971 em Düsseldorf a Semana INTERKAMA — Congresso Internacional, com Exposição, da Técnica de Medida e de Automação.

Os três pilares fundamentais da INTERKAMA — 71 são:

1. Congresso científico-técnico
2. Exposição especializada alargada
3. Cursos práticos INTERKAMA, de participação reduzida, consagrados à discussão, e a demonstrações.

Está desde já assente que o Congresso se ocupará sobretudo de problemas resultantes do emprego, cada vez mais generalizado, dos calculadores automáticos, cujas incidências são igualmente do domínio da técnica das medidas eléctricas de precisão.

O prazo para inscrição dos expositores termina em Março de 1971.

A 4.ª INTERKAMA realizada em 1968 teve 702 expositores e 62 000 visitantes, vindos de 29 países, encontraram-se no terreno da exposição. Quanto ao Congresso, registou 2500 participantes para as 56 conferências. Em relação aos cursos eles foram frequentados por 6000 pessoas.

Conferência sobre Inteligência Artificial

A conferência que terá lugar no Imperial College em Londres de 1 a 3 de Setembro de 1971, está a ser organizada pela British Computer Society em nome do International Joint Council on Artificial Intelligence — uma organização formada na sequência da 1.ª Conferência sobre Inteligência Artificial em Washington (U.S.A.) em 1968.

Recebem-se comunicações sobre os seguintes temas:

Fundamentos teóricos e estudos sobre inteligência artificial.

Estudos teóricos de relêvo sobre ciências relacionadas com computadores, por exemplo, teoria matemática de programação.

Demonstração de teoremas.

Resolução de problemas heurísticos.

Aprendizagem de máquinas.

Pattern Recognition.

Jogos.

"Compreensão" pelo computador por exemplo, comunicação em linguagem natural, por gráficos, fotografias ou outros meios de representação; sistemas de pergunta-resposta.

Pesquisas linguísticas relevantes para a inteligência artificial.

Sistemas de inteligência artificial integrada por exemplo robots, sistemas de controle integrado.

Hardware e Software relevantes para a inteligência artificial, por exemplo línguagens de alto nível, sistemas gráficos robot Hardware.

Simbiose homem-máquina na resolução de problemas.

Modelagem psíquica e fisiológica de sistemas inteligentes.

Aplicações.

I. N. I. I.
Aplicações do método PERT na indústria de construção

O INII vai realizar um curso sobre as *Aplicações do Método PERT na Indústria de Construção.*

Este curso que terá lugar de 23 a 25 de Novembro de 1970 terá a duração de 18 h e será ministrado em português pelo Eng.º Nelso Montes.

O programa deste curso é o seguinte:

— Actividades intervenientes nos empreendimentos de construção de edifícios. Programa de exigências funcionais. Análise técnico-económica. Anteprojecto e projecto. Concurso e adjudicação. Execução das obras.

— Preparação da execução das obras. Esclarecimento e harmonização dos projectos. Montagem do estaleiro. Elaboração dos programas de trabalhos, de pessoal e de máquinas.

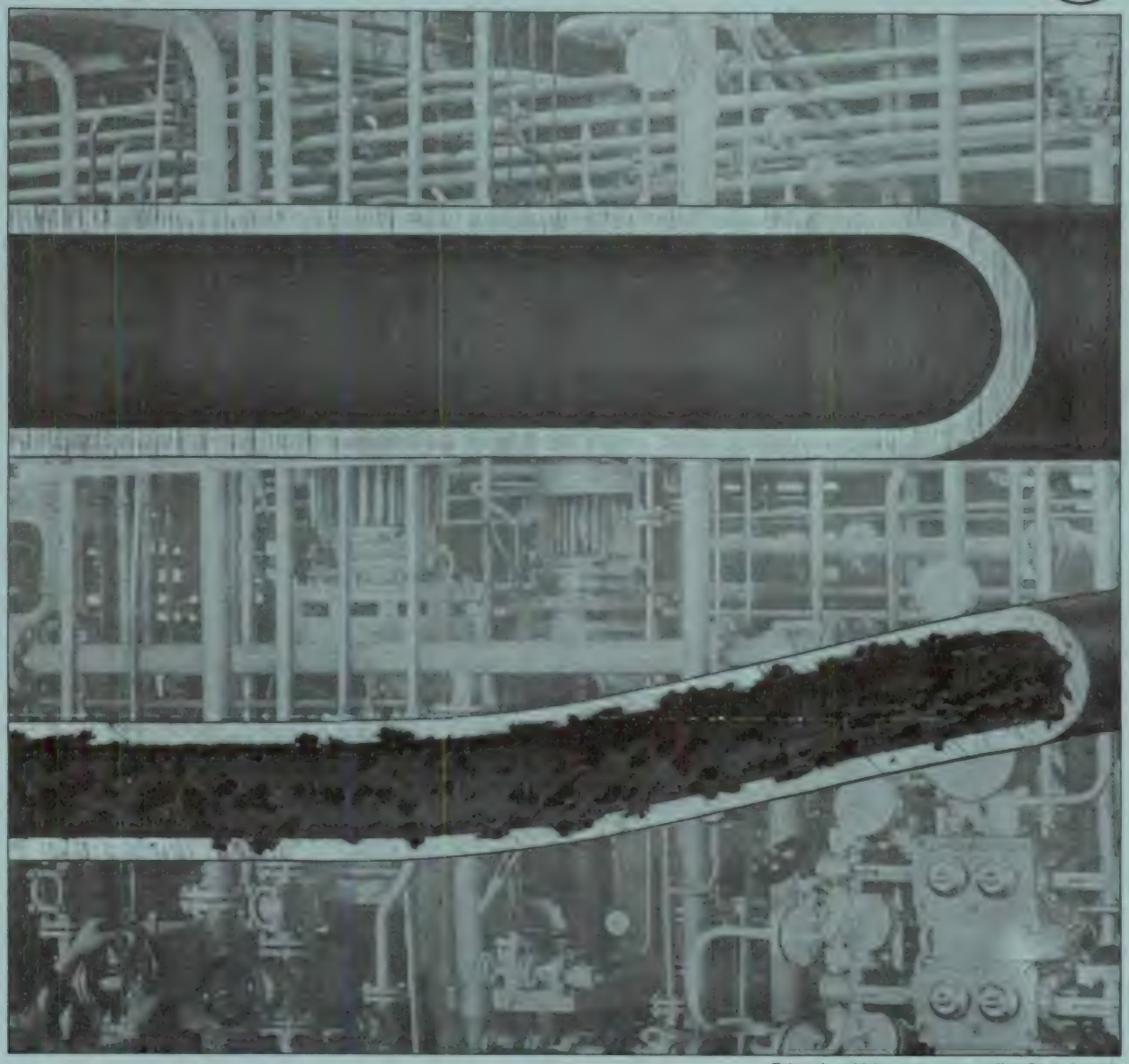
— Controle de execução da obra. Reuniões de coordenação. Controle dos programas.

— PERT-Tempo. Princípios de base. Elaboração de listas. Definição de tempos. Estabelecimento de redes. Cálculo automático de redes. Exemplo de aplicação.

— PERT-Recursos. Princípios de base. Definição de recursos. Estabelecimento de cálculo automático de redes. Exemplo de aplicação.

Horário: 9.30-12.30 e 14.30-17.00 h.

Bayer



Tubos de caldeira, com e sem aplicação de Levoxin

Levoxin supera a protecção anticorrosiva com hidrazina. Considerada até hoje a mais eficaz.

®Levoxin é um novo tipo de hidrazina com capacidade de reacção muito mais elevada, que proporciona uma segurança de serviço ainda maior nas suas instalações.

Levoxin protege da corrosão todo o circuito de água-vapor mediante extrema aceleração da ligação de oxigénio, alcalinização, favorecimento da formação de camada protectora de magnetite, e graças ao efeito inibidor.

É muito vasto o campo de aplicação deste produto Bayer: em caldeiras de toda a espécie, tubagens de vapor e de água condensada, aquecimentos a distância e por circulação, sistemas de refrigeração fechados. E também para a conservação, em húmido, de instalações que vão estar imobilizadas passageiramente.

Condições económicas e segurança de serviço são os factores decisivos que falam a favor de Levoxin. Graças ao emprego de Levoxin, reduz-se a ocorrência de grandes reparações e evita-se dispendiosas falhas de funcionamento.

Informação 778 AA

Queira enviar este cupão, colado sobre papel timbrado, à:

BAYER PORTUGAL s.a.r.l.
Apartado 2365, LISBOA
Apartado 40, PORTO

☐ Pedimos o envio do prospecto sobre Levoxin.

☐ Pedimos conselhos para o seguinte problema:

_____

levoxin

DESPOEIRAGEM

FILTROS TECIDOS EM PEÇAS, PANOS, SACOS, MANGAS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESIRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
Tr. do Guarda Mór, 13-r/c
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
R. Francisco Newton, 389/393
C.P. 2178 - Tel. 81 89 7

MOÇAMBIQUE
L. Marques - C.P. 982 - Tel. 74 11 21
Beira - C.P. 1002 - Tel. 7 14 97

C. D. U. 621.373.421

AUTO-EXCITAÇÃO SIMULTÂNEA, ASSÍNCRONA E ESPONTÂNEA DE DOIS MODOS, NUM OSCILADOR DE REACÇÃO EMPREGANDO UM ÚNICO ELEMENTO NÃO-LINEAR ACTIVO DO 3.° GRAU*

Por J. F. BORGES DA SILVA
Eng.º Electrotécnico Diplomado
1.º Assistente I. S. T.

RESUMO

Faz-se a análise da cadeia fechada formada por dois ressoadores L C ligados magnèticamente e um gerador de corrente comandado por tensão, cuja característica é do tipo,

$$i = -au + bu^3, \qquad a, b > 0 .$$

O sistema de equações de evolução das amplitudes dos dois modos possíveis de oscilação, na hipótese assíncrona, revela a existência dum estado de equilíbrio estável com amplitudes não-nulas de ambas as oscilações, que é acessível a partir dum estado inicial de repouso.

Estes resultados são confirmados experimentalmente por simulação analógica e ensaios num circuito real.

SYNOPSIS

The closed loop formed by two magnetically coupled L C resonators and a voltage controlled current source characterised by a current-voltage relation,

$$i = -au + bu^3, \qquad a,b > 0 .$$

is analysed. The growth equations for the two possible oscillation modes, assumed non-synchronous, show the existence of a stable equilibrium with non-zero amplitudes for both modes, this equilibrium being attainable for a system initially at rest. The above results were confirmed by analog simulation and experiments involving a real circuit.

I. INTRODUÇÃO

A. Breve revisão dos resultados de estudos anteriores.

O estudo da teoria não-linear da auto-excitação em sistemas com dois modos de oscilação possíveis, tem a sua origem em B. van der Pol [1] no início da década dos vinte. O sistema analisado por este Autor está esquematizado na Fig. 1 e consiste num circuito passivo constituído por dois ressoadores ligados magnèticamente e um circuito activo não-linear formado pelo tríodo sob retroacção positiva em tensão, directa do circuito anódico para a grelha. O próprio Autor salienta que a teoria desenvolvida seria igualmente aplicável a um sistema em que o elemento activo fosse do tipo «dinatrão», Fig. 2 (A). Grande parte dos estudos posteriores sobre este assunto têm incidido sobre o modelo da Fig. 2 (B) em que não figura ligação magnética. Com efeito, este pormenor não é essencial pois que no domínio das oscilações quase-sinusoidais em sistemas quase-conservativos, apenas é relevante a existência de pares de polos conjugados do operador impedância do circuito passivo na vizinhança do eixo imaginário do plano das frequências complexas, independentemente da configuração particular do circuito utilizado.

No caso presente, bastará pois que o circuito passivo apresente dois pares de polos conjugados, havendo ainda que exigir uma distância entre polos correspondentes dum e doutro par, suficientemente grande comparada com a distância desses polos ao eixo imaginário. Deste modo, com factores de qualidade dos ressoadores suficientemente elevados, o modelo da Fig. 2 (B) conduz aos mesmos resultados dos modelos anteriores.

No seu estudo [1] B.van der Pol representa a característica não linear do elemento activo por um polinómio ímpar do 3.º grau, concluindo que, embora exista um estado de equilíbrio com amplitudes não nulas dos dois modos considerados

* Comunicação do Laboratório de Medidas Eléctricas do I. S. T. apresentada no Simpósio Sobre a Teoria da Informação e dos Sistemas que teve lugar no I. S. T. de 22 a 25 de Setembro 1970.

assíncronos (frequências incomensuráveis), esse estado de equilíbrio é *instável* não sendo portanto realizável.

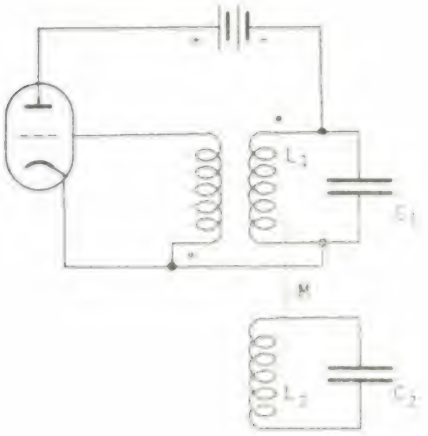


Fig. 1 — Montagem referida por B.van der Pol no seu estudo [1]

É geralmente atribuído a L. V. Skinner [5] ter constatado pela primeira vez a realizabilidade de oscilações simultâneas em duas frequências incomensuráveis, sendo necessário para isso uma não-linearidade do 5.º grau com a forma conveniente. Este estado de oscilação simultânea estável não é porém acessível a partir do repouso, dependendo de condições iniciais especiais.

A oscilação simultânea em frequências comensuráveis (caso síncrono), constitui um problema essencialmente diferente deste a que se refere o presente trabalho. Foi inicialmente estudado por R. E. Fontana [6] concluindo-se da existência de estados estáveis, por exemplo, para uma relação 2 : 1 das frequências mesmo com uma não linearidade do 3.º grau *incluindo* porém o termo quadrático.

O progresso realizado no estudo destas matérias até 1954 pode ser apreciado num artigo de síntese devido a J. S. Schaffner [7].

Mais recentemente, vários autores têm-se debruçado de novo sobre o problema das oscilações assíncronas simultâneas em torno do modelo da Fig. 2 (B), corroborando resultados anteriores relativos às não-linearidades do 3.º e do 5.º grau, I. Bruyland [10], [13], H. J. Reich [11], [12]. Nestes artigos encontra-se também o estudo dum novo caso que consiste em ter, além do elemento activo não-linear do 3.º grau, dois elementos dissipativos não-lineares igualmente do 3.º grau, ($i = au + bu^3$, $a, b > o$), cada um em paralelo com um dos ressoadores da Fig. 2 (B). O estado de equilíbrio estável de oscilação simultânea dos dois modos que assim se consegue é acessível a partir do repouso, isto é, *é espontâneo*. Referência a esta possibilidade tinha já sido feita por H. J. Reich et al. [9].

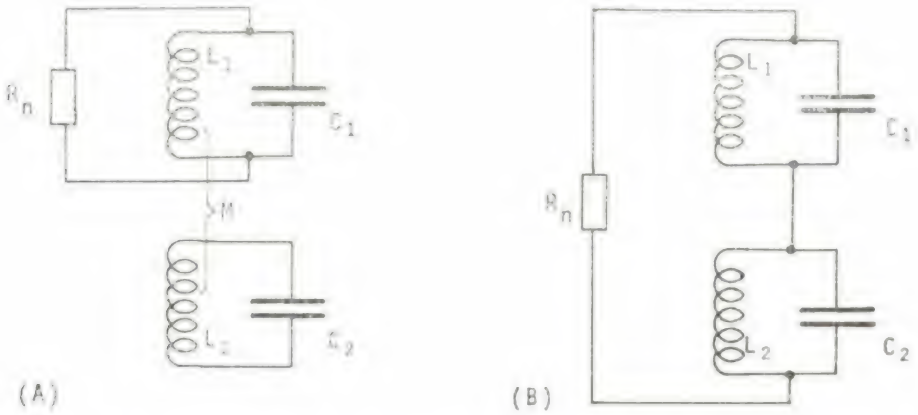


Fig. 2 — Modelos equivalentes para o estudo do problema das oscilações simultâneas. R_n — Dípolo activo do tipo «dinatrão»

Outro caso ainda, conduz à mesma possibilidade e foi estudado por M. I. Disman e W. A. Edson [8]. Consiste no emprego dum elemento activo com característica exponencial em conjunto com um mecanismo de variação automática do ponto de funcionamento em resposta à soma dos valores máximos das duas oscilações. Segundo os autores, o estudo é relevante em relação ao funcionamento dos osciladores de classe-C.

Finalmente e muito recentemente, certos problemas desta índole, mas relativos a casos envolvendo um grande número de modos possíveis de oscilação, têm merecido também a atenção de alguns autores [14], [15].

B. Modelo do sistema investigado no presente estudo.

Na Fig. 3 está representada a associação em cadeia fechada dum gerador de corrente ideal comandado por tensão e dois ressoadores quase-conservativos ligados magnèticamente. O circuito passivo receberá energia para a manutensão das oscilações através do par de terminais A_1 B_1 do ressoador 1, mas o gerador é comandado pela tensão aos terminais A_2 B_2 do ressoador 2. Este último facto torna o modelo da Fig. 3 essencialmente diferente do da Fig. 1, não sendo já possível a sua redução aos modelos mais simples da Fig. 2. Com efeito, como é conhecido, os dois ressoadores oscilam pràticamente em fase ou pràticamente em oposição de fase (rigorosamente no caso conservativo), consoante se considera a oscilação respectivamente do modo de frequência mais baixa ou mais alta. Assim a retroacção terá carácter positivo (desamortecimento) para um modo e carácter negativo (amortecimento) para o outro. Em qualquer dos modelos das Figs. 1 e 2 o comportamento do elemento activo é idêntico perante cada um dos modos considerados isoladamente.

Admitindo no modelo da Fig. 3 uma característica $i = f(u_c)$ apresentando uma simples saturação, obtém-se o caso comum do oscilador de reacção por transformador duplamente sintonizado.

Nestas circunstâncias, uma troca de ligações que inverta a tensão de comando u_c em relação à tensão u_1 aos terminais do ressoador 1, permite obter ora um, ora outro dos dois modos possíveis de oscilação do circuito passivo [3]. Um tal sistema nem sequer deve ser considerado como um oscilador com dois modos possíveis de oscilação visto que, efectivamente, com uma dada configuração só um dos modos de oscilação é desamortecido. Note-se que este comportamento difere essencialmente do comportamento do modelo da Fig. 1 em que, embora não seja possível obter simultâneamente as duas oscilações, é todavia possível sem mudança de configuração, obter uma ou outra por simples escolha de condições iniciais apropriadas.

A possibilidade de oscilação simultânea em duas frequências surge no modelo de Fig. 3 se se admitir uma característica da forma,

$$i = f(u_c) = -a\,u_c + b\,u_c^3 \qquad a, b > 0 \qquad (1)$$

representada na Fig. 4 (A).

O elemento activo apresenta assim transmissão com inversão de fase no domínio das pequenas amplitudes, favorecendo a auto-excitação dum dos modos, e transmissão em fase no domínio das grandes amplitudes, favorecendo portanto o outro modo. A teoria e as experiências revelam então a existência de um único estado de equilíbrio estável a que correspondem amplitudes de oscilação não nulas de ambos os modos. Esse estado é atingido *espontâneamente* a partir do repouso, começando por se auto-excitar o modo favorecido no domínio das pequenas amplitudes. O seu crescimento, levando o sistema ao domínio das grandes amplitudes, cria condições que possibilitam a auto-excitação do outro modo. O equilíbrio vem a ser atingido após sucessivas

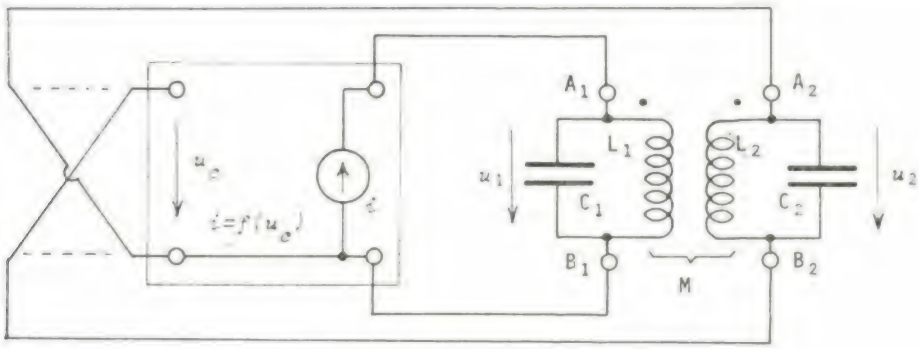


Fig. 3 — Modelo do sistema investigado

flutuações de amplitude alternadas dum e doutro modo.

A forma da característica da Fig. 4 (A) também faz prever que se deva verificar o crescimento indefinido do modo favorecido pela transmissão em fase, desde que as condições iniciais sejam de molde a estabelecê-lo, logo de início, com amplitude suficientemente grande.

Num sistema real é sempre de prever a existência de saturação a partir de certa amplitude, como sugere a Fig. 4 (B), a oscilação de grande amplitude mencionada acima virá pois, normalmente, a ser estabilizada no domínio das grandes amplitudes. Nestas condições ter-se-á que uma perturbação inicial de grande amplitude conduz a um regime de grande amplitude com uma única frequência, aquela que corresponde ao modo favorecido pela transmissão em fase, enquanto que o arranque a partir do repouso ou provacado por uma perturbação de pequena amplitude conduzirá a um regime de oscilação simultânea nas duas frequências de amplitude moderada.

Dado que a diferença de frequências dos dois modos é normalmente pequena comparada com o próprio valor dessas frequências, estes regimes de oscilação simultânea nas duas frequências apresentam, no domínio do tempo, o aspecto característico de batimentos.

II. EQUAÇÕES DE EVOLUÇÃO DAS AMPLITUDES

A. Equações do circuito passivo.

Por simplicidade de análise, considera-se o caso em que os ressoadores são idênticos, Fig. 5.

O circuito passivo fica assim caracterizado, com desprezo das perdas por agora, pelos valores de,

$$L,\ C,\ \text{e}\ M.$$

Encontrar-se-á conveniência mais adiante em introduzir em vez destes os parâmetros,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}\ ,\ G_s = \sqrt{\frac{C}{L}}\ ,\ k = \frac{M}{L}\ . \qquad (2)$$

O circuito da Fig. 5 é então descrito, em termos de valores instantâneos das tensões por,

$$\frac{d^2}{dt^2}\begin{bmatrix} 1 & k \\ k & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \omega_0^2 \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = 0 \qquad (3)$$

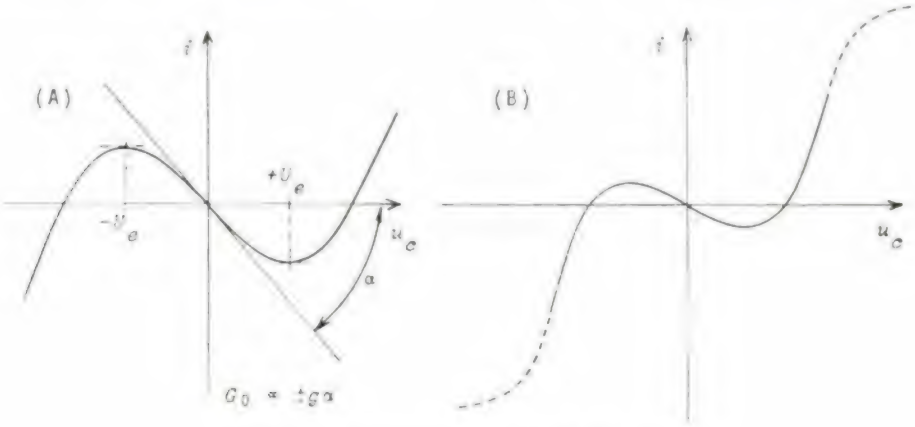


Fig. 4 — Característica do elemento activo

Designando por u_A e u_B funções do tempo da forma,

$$u_A = U_A\ sen\ (\omega_A t + \varphi_A)$$
$$u_B = U_B\ sen\ (\omega_B t + \varphi_B)$$

em que ω_A e ω_B são as raízes da equação característica do sistema (3),

$$det \begin{bmatrix} \omega^2 - \omega_0^2 & k\omega^2 \\ k\omega^2 & \omega^2 - \omega_0^2 \end{bmatrix} = 0$$

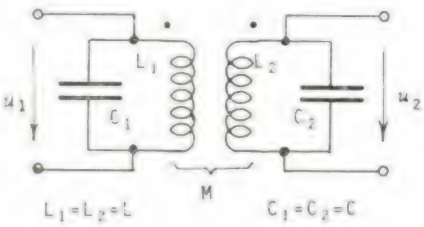


Fig. 5 — Circuito passivo

é vasto o nosso campo de acção

6 DELEGAÇÕES NA METRÓPOLE E ULTRAMAR

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

DIRECÇÃO DE SERVIÇOS DE CAMINHO DE FERRO, PORTOS E TRANSPORTES (DSCFPT) — Moçambique — Porto de Lourenço Marques — Novo prolongamento do cais Gorjão: 320 metros de cortina metálica em concertina, em fundos de (— 11,00).

OBRAS PÚBLICAS
CONSTRUÇÃO CIVIL—INDUSTRIAL E URBANA

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA • FUNDAÇÕES ESPECIAIS • CONSOLIDAÇÕES
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS • PONTES E VIADUTOS • SILOS E CHAMINÉS
INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

é vasto o nosso campo de acção

6 DELEGAÇÕES NA METRÓPOLE E ULTRAMAR

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

SACOR — Refinaria do Norte (Matosinhos) — Quatro chaminés de betão armado com 100 metros de altura. Construção com moldes deslizantes.

OBRAS PÚBLICAS
CONSTRUÇÃO CIVIL—INDUSTRIAL E URBANA

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA • FUNDAÇÕES ESPECIAIS • CONSOLIDAÇÕES
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS • PONTES E VIADUTOS • SILOS E CHAMINÉS
INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

e que são dadas por,

$$\omega_A = \frac{\omega_0}{\sqrt{1+k}}, \quad \omega_B = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-k}}, \tag{5}$$

a solução geral de (3) será da forma,

$$\begin{cases} u_1 = u_A + u_B \\ u_2 = u_A - u_B \end{cases} \tag{6}$$

As soluções particulares linearmente independentes que compõem esta solução geral, associadas cada uma a cada uma das raízes (5),

$$(A) \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_A \\ u_A \end{bmatrix}, \quad (B) \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_B \\ -u_B \end{bmatrix}, \tag{7}$$

representam os dois modos de oscilação possíveis do circuito passivo. No seguimento, supor-se-á sempre serem as suas frequências *incomensuráveis*.

O valor médio da energia eléctrica armazenada nos condensadores e correspondente a um dado modo de oscilação é dado por,

$$\overline{W}_e = (\overline{W}_e)_1 + (\overline{W}_e)_2 = C\,\frac{U^2}{2}$$

onde U representa o valor máximo da oscilação do modo considerado, que é o mesmo num e noutro ressoador. Como consequência do sistema de equações (3), este valor médio é igual ao da energia magnética associada ao mesmo modo, pelo que a energia total armazenada em média será dada por,

$$\overline{W} = C\,U^2$$

Para uma modificação lenta da amplitude à escala do período das oscilações, será necessário pôr em jogo uma potência,

$$\frac{d}{dt}\,\overline{W} = C\,\frac{d}{dt}\,(U^2) \tag{8}$$

Nestas mesmas circunstâncias, a existência de perdas qualquer que seja a sua origem, pode ser levada em linha de conta no balanço energético do circuito, referindo a potência correspondente ao valor máximo da tensão que caracteriza a amplitude do modo em causa através duma condutância equivalente G. Acrescentando o efeito das perdas à expressão (8) obtém-se,

$$C\,\frac{d}{dt}\,(U^2) + \frac{1}{2}\,G\,U^2 = P \tag{9}$$

onde P representa o valor médio da potência relativo ao fluxo de energia *cedida* ao circuito, associado ao modo de oscilação que se considera.

B. Equações do circuito activo.

De acordo com o esquema da Fig. 3, identifica-se u_c com $-u_2$, resultando de (4) e (6) ser,

$$u_c = -u_2 = -u_A + u_B = -U_A\,sen\,(\omega_A t + \varphi_A) + \\ + U_B\,sen\,(\omega_B t + \varphi_B)$$

Utilizando a expressão (1) para caracterizar o circuito activo, procurem-se os termos da corrente i que apresentam as mesmas frequências que figuram na tensão u_c. Encontra-se para os valores máximos respectivos expressões da forma,

$$\begin{aligned} I_A &= a\,U_A - 3b\left(\frac{U_A^3}{4} + \frac{U_B^2\,U_A}{2}\right) \\ I_B &= -a\,U_B + 3b\left(\frac{U_B^3}{4} + \frac{U_A^2\,U_B}{2}\right) \end{aligned} \tag{10}$$

Os termos da corrente a que se referem estes valores máximos estão em fase (ou oposição) com os correspondentes termos da tensão u_c.

Na caracterização do elemento não-linear é mais informativo considerar, em vez dos coeficientes a e b, a inclinação na origem expressa através duma condutância G_0 e a abcissa das estacionaridades $\pm U_e$, Fig. 4 (A). Tem-se então,

$$a = G_0, \qquad 3b = \frac{G_0}{U_e^2}.$$

As parcelas da potência cedida ao circuito passivo relativas a cada um dos modos serão então dadas por,

$$P_A = \frac{1}{2}\,U_A\,I_A, \qquad P_B = \frac{1}{2}\,U_B\,I_B. \tag{11}$$

No valor médio da potência não figuram termos cruzados relativos a tensões e correntes de índice

diferente, por estes índices dizerem respeito a termos de frequências distintas.

C. Equações de evolução normalizadas.

Substituindo em expressões com a forma de (9), uma para cada modo, as expressões da potência de (11) calculadas usando (10) obtém-se,

$$\begin{cases} 2C\dfrac{d}{dt}(U_A^2) = \left[-G_A + G_0 - \dfrac{G_0}{U_e^2}\left(\dfrac{1}{4}U_A^2 + \dfrac{1}{2}U_B^2\right)\right]U_A^2 \\ 2C\dfrac{d}{dt}(U_B^2) = -\left[G_B + G_0 - \dfrac{G_0}{U_e^2}\left(\dfrac{1}{4}U_B^2 + \dfrac{1}{2}U_A^2\right)\right]U_B^2. \end{cases} \tag{12}$$

Observe-se nestas equações que a interacção dos dois modos condicionada pela não linearidade, se dá ùnicamente através das suas amplitudes, não figurando nestas equações as desfasagens em relação à origem dos tempos duma e doutra oscilação. Esta circunstância é característica do tratamento destes problemas na hipótese assíncrona e resulta directamente de se admitir a incomensurabilidade das frequências. Sob esta hipótese as desfasagens são irrelevantes para o balanço energético do sistema.

Procede-se agora à normalização das equações (12):

Toma-se G_0 como norma das condutâncias, introduzindo as condutâncias numéricas,

$$g_A = \frac{G_A}{G_0}, \qquad g_B = \frac{G_B}{G_0}. \tag{13}$$

Introduz-se uma variável tempo numérica,

$$\tau' = \omega_0 t = \frac{t}{\sqrt{LC}} \tag{14}$$

Finalmente normalizam-se as tensões tomando U_e para norma. Para variáveis dependentes do sistema de equações de evolução tomam-se então os números a e b proporcionais aos quadrados dos valores máximos,

$$a = \left(\frac{U_A}{U_e}\right)^2, \qquad b = \left(\frac{U_B}{U_e}\right)^2. \tag{15}$$

O sistema de equações (12) escreve-se então,

$$\begin{cases} \dfrac{da}{d\tau'} = \dfrac{G_0}{2G_s}\left[-g_A + \left(1 - \dfrac{1}{4}a - \dfrac{1}{2}b\right)\right]a \\ \dfrac{db}{d\tau'} = \dfrac{G_0}{2G_s}\left[-g_B - \left(1 - \dfrac{1}{4}b - \dfrac{1}{2}a\right)\right]b \end{cases} \tag{16}$$

A forma das equações (16) sugere uma nova normalização do tempo que absorva o factor em evidência no 2.° membro das duas equações. Na hipótese feita de evolução lenta à escala do período este factor tem de ser muito pequeno em relação à unidade. Introduz-se então nova variável tempo numérica,

$$\tau = \frac{G_0}{8G_s}\tau' \tag{17}$$

Nesta nova unidade o período das oscilações é expresso por um número muito pequeno comparado com a unidade, enquanto que na unidade definida por (14) era da ordem de 2π. A nova unidade está portanto proporcionada ao ritmo de evolução das amplitudes.

Para atingir a máxima simplicidade na forma final das equações normalizadas combinam-se ainda numa única constante em cada equação, os efeitos do amortecimento natural do circuito passivo com os efeitos de amortecimento ou desamortecimento provenientes do termo linear da característica do elemento activo. Definem-se para isso as duas constantes,

$$\begin{aligned} \alpha &= 4(1 - g_A) \\ \beta &= 4(1 + g_B) \end{aligned} \tag{18}$$

As equações de (16) escrevem-se finalmente na forma,

$$\begin{cases} \dfrac{da}{d\tau} = -(-\alpha + a + 2b)a \\ \dfrac{db}{d\tau} = \quad(-\beta + b + 2a)b \end{cases} \tag{19}$$

Esta forma das equações de evolução é característica do problema de duas oscilações assíncronas ligadas por uma não linearidade do 3.º grau e surge com pequenas alterações em todas as diferentes variantes deste problema. A característica que distingue fundamentalmente o caso presente do caso da Fig. 1 e seus equivalentes, reside na ausência do sinal negativo no 2.º membro da 2.ª equação ao contrário do que sucede nos outros casos. Esta troca de sinal provém directamente da existência de inversão de fase para o modo B na transmissão através do circuito passivo, que condiciona a mudança de sinal da retroacção. Nos outros casos esta mudança de fase não tem òbviamente qualquer consequência.

A dedução das equações de evolução das amplitudes foi conduzida segundo o método clássico aplicável aos sistemas quase-conservativos e que é fundamentalmente devido a B. van der Pol [2]. Este método é recomendável pela sua simplicidade e clareza no que respeita ao significado físico das aproximações introduzidas. Estes mesmos problemas são porém susceptíveis de tratamento matemático mais rigoroso, empregando o método de Kryloff e Bogoliuboff [4]. É porém conhecido que este método conduz nestes problemas aos mesmos resultados que o método clássico. A aplicação do referido método a questões deste género pode ser apreciada nos trabalhos das referências [6], [7], e [8]. A sua aplicação neste caso conduziu também aos mesmos resultados.

III. EQUILÍBRIO E ESTABILIDADE

A. *Pontos de equilíbrio.*

Igualando a zero os segundos membros de (19) obtém-se o sistema de equações de equilíbrio,

$$\left\{ \begin{array}{l} (a + 2b - \alpha)\, a = 0 \\ (b + 2a - \beta)\, b = 0 \end{array} \right\} \qquad (20)$$

cujas soluções dão as coordenadas dos pontos de equilíbrio,

$$(1) \left[\begin{array}{l} a_1 = 0 \\ b_1 = 0 \end{array} \right., \quad (2) \left[\begin{array}{l} a_2 = \alpha \\ b_2 = 0 \end{array} \right., \quad (3) \left[\begin{array}{l} a_3 = 0 \\ b_3 = \beta \end{array} \right.,$$

$$(4) \left[\begin{array}{l} a_4 = \frac{1}{3}\,(2\beta - \alpha) \\ b_4 = \frac{1}{3}\,(2\alpha - \beta) \end{array} \right. \qquad (21)$$

O sistema (20) pode ser interpretado gràficamente com o auxílio das rectas representativas dos dois parêntesis igualados a zero. Esta construção, usada por vários autores [11], [12] e [13], está representada na Fig. 6. Nela, os pontos de equilíbrio estão indicados pela letra E seguida dum índice correspondente à numeração das soluções adoptada acima (21). As rectas figuradas são portanto isóclinas das trajectórias integrais do sistema (19) correspondentes às inclinações infinita e nula. Se se atender aos sinais algébricos das derivadas nas diferentes regiões do plano delimitadas pelas rectas da Fig. 6, imediatamente se reconhece a existência duma

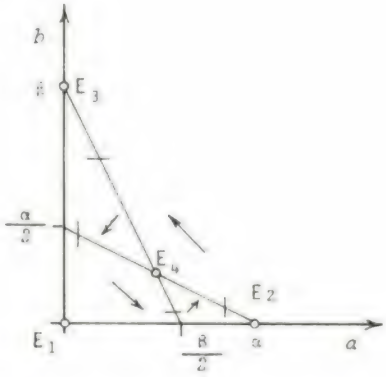


Fig. 6 — Interpretação gráfica das equações de equilíbrio

tendência das trajectórias integrais do sistema diferencial (19) para se enrolarem em torno do ponto E_4.

B. *Estabilidade local.*

Representando genèricamente por a_0 e b_0 os valores de equilíbrio de a e b, o sistema (19) linearizado na imediata vizinhança dum ponto de equilíbrio toma a forma,

$$\frac{d}{d\tau} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha - 2a_0 - 2b_0 & -2a_0 \\ 2b_0 & -\beta + 2a_0 + 2b_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}. \qquad (22)$$

Designando por A a matriz deste sistema, a equação característica do mesmo pode escrever-se,

$$p^2 - Sp\mathrm{A}\ p + det\mathrm{A} = 0\ . \quad (*) \qquad (23)$$

A condição de estabilidade é a existência de todas as raízes no semi-plano real-negativo, que se exprime pelas condições,

$$1)\ Sp\mathrm{A} < 0, \quad 2)\ det\mathrm{A} > 0\ .$$

A primeira condição é sempre satisfeita pois que, fazendo intervir (18), se tem,

$$Sp\mathrm{A} = \alpha - \beta = -4\ (g_A + g_B)$$

e g_A e g_B são necessàriamente números positivos desde que haja dissipação no circuito passivo.

Na discussão da segunda condição restringem-se as considerações aos únicos casos de interesse mediante as seguintes duas hipóteses:

A) O sistema é efectivamente capaz de se auto-excitar no domínio das pequenas amplitudes através do modo A.
Então, $\alpha > 0$ ou o que é o mesmo, $g_A < 1$.

B) O estado de equilíbrio E_4 efectivamente existe, isto é, o ponto de intersecção das rectas da Fig. 6 ocorre no 1.° quadrante. Então atendendo a (21). 4, deve ser, $a_4 > 0$ e $b_4 > 0$, ou seja $2\beta > \alpha$ e $2\alpha > \beta$. A primeira desigualdade verifica-se sempre, a segunda exige,

$$g_A < \frac{1 - g_B}{2} \qquad (24)$$

Conclui-se portanto que a hipótese B) acarreta também $g_B < 1$, isto é, trocando a polaridade das ligações, Fig 3, também deve ser possível a auto-excitação do modo B no domínio das pequenas amplitudes. A expressão (24) acarreta também para g_A um condicionalismo mais forte do que resultava simplesmente de admitir a hipótese A), pois que exige $g_A < 1/2$.

Calculando agora $det\mathrm{A}$ para os diferentes pontos de equilíbrio, podem tirar-se conclusões quanto à sua estabilidade:

Ponto E_1, $det\mathrm{A} = -\alpha\beta < 0$ logo instável.

Ponto E_2, $det\mathrm{A} = -3\alpha b_4 < 0$ logo instável.

Ponto E_3, $det\mathrm{A} = -3\beta a_4 < 0$ logo instável.

Ponto E_4, $det\mathrm{A} = 3\alpha_4 b_4 > 0$ logo estável!

O único ponto de equilíbrio estável é pois aquele que corresponde à existência simultânea de duas oscilações.

Analisando mais em pormenor este último ponto de equilíbrio, considere-se a situação limite em que o circuito passivo é conservativo. Ter-se-á $g_A = g_B = 0$, então

$$\alpha = \beta = 4 \qquad (25)$$

e em consequência $Sp\mathrm{A} = 0$. As raízes da equação (23) são nestas condições imaginárias puras. O ponto de equilíbrio E_4 é portanto um *centro*. As coordenadas respectivas são, $a_4 = b_4 = 4/3$. Ocorre portanto sobre a bissectriz do 1.° quadrante, Fig. 7.

Existindo dissipação é sempre,

$$a_4 - b_4 = \beta - \alpha = 4\ (g_A + g_B) > 0$$

logo o ponto E_4 ocorre abaixo da bissectriz do quadrante. As raízes da equação (23) são em princípio complexas, o que permite caracterizar E_4 como um *foco estavel*. A rapidez com que as trajectórias convergem para o foco é medida pela parte real dessas raízes tomada em módulo, ou seja por

$$\frac{1}{2}\,|Sp\mathrm{A}| = 2\,(g_A + g_B)\,.$$

Porém, quando o ponto E_4 se situar abaixo da recta de equação,

$$b = (7 - \sqrt{48})\ a$$

Fig. 7, o discriminante da equação (23) torna-se positivo e as raízes ficam ambas reais negativas.

(*) Sp A, traço de A.
det A, determinante de A.

O ponto E_4 terá então o carácter dum *nodo estáve*

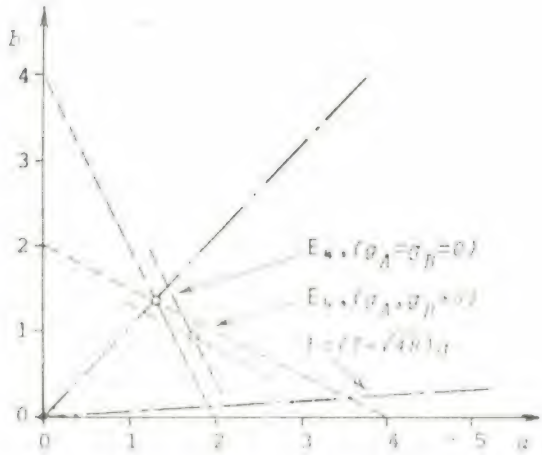


Fig. 7 – Localização do ponto E_4

C. Separatrizes.

Nos pontos de equilíbrio instável E_1, E_2 e E_3 verifica-se que as raízes da equação (23) são reais, sendo uma positiva e a outra negativa. Estes pontos são, por consequência, do tipo *colo*. O par de raízes relativo a um ponto não é mais que o par de valores próprios da matriz $\underline{A}$ calculada nesse ponto, ao qual corresponde um par de direcções próprias que não são mais que as direcções das linhas separatrizes que se encontram nesse ponto de equilíbrio. A direcção própria correspondente ao valor próprio positivo representa a separatriz divergente e a direcção própria correspondente ao valor próprio negativo a separatriz convergente.

A análise dos três pontos instáveis conduz aos seguintes resultados:

$$E_1 \left| \begin{array}{ll} \text{Valores próprios} & \left\{ \begin{array}{l} p_1 = \alpha > 0 \\ p_1 = -\beta < 0 \end{array} \right. \\ \text{Direcções próprias} & \left\{ \begin{array}{l} (1\,,0) \\ (0\,,1) \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$E_2 \left| \begin{array}{ll} \text{Valores próprios} & \left\{ \begin{array}{l} p_2 = -\alpha < 0 \\ p_2 = 2\alpha - \beta > 0 \end{array} \right. \\ \text{Direcções próprias} & \left\{ \begin{array}{l} (1\,,0) \\ \left(-\alpha\,, \dfrac{3\alpha-\beta}{2}\right) \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$E_3 \left| \begin{array}{ll} \text{Valores próprios} & \left\{ \begin{array}{l} p_3 = \alpha - 2\beta < 0 \\ p_3 = \beta > 0 \end{array} \right. \\ \text{Direcções próprias} & \left\{ \begin{array}{l} \left(\dfrac{3\beta-\alpha}{2}\,, -\beta\right) \\ (0\,,1) \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Verifica-se no caso conservativo, $\alpha = \beta$, que a separatriz que parte de E_2 é a mesma que atinge E_3, sendo simplesmente uma recta de inclinação — *1*. No caso geral a separatriz que parte de E_2 vai terminar no ponto de equilíbrio estável E_4, enquanto que aquela que termina em E_3 vem de $(+\infty, 0)$, Fig. 8.

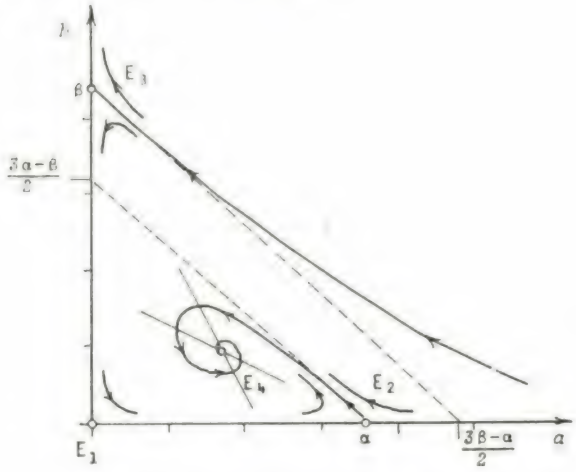


Fig. 8 – Separatrizes no caso geral

IV. INTEGRAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE EVOLUÇÃO

A. Caso conservativo.

Quando o circuito passivo não tem dissipação (25), o campo de velocidades definido polo sistema de equações de evolução (19) fica solenoidal puro, isto é,

$$\frac{\partial v_a}{\partial a} + \frac{\partial v_b}{\partial b} = (\alpha - 2a - 2b) + (-\beta + 2b + 2a) =$$

$$= \alpha - \beta = 0 \qquad (26)$$

Torna-se então possível definir as trajectórias integrais do sistema a partir duma função de fluxo $\Phi(a,b)$ apropriada, fazendo

$$\Phi(a,b) = c.^{te}$$

A função de fluxo obtém-se por integração da diferencial.

$$d\Phi = v_b\, da - v_a\, db$$

que, em virtude de (26), é exacta. Obtém-se,

$$\Phi(a,b) = ab(-4 + a + b) \qquad (27)$$

onde a constante de integração foi escolhida de modo a tornar a função nula na origem o que arrasta ser nula sobre os eixos coordenados e sobre a recta

$$-4 + a + b = 0\,.$$

A função, Fig. 9, é negativa no interior do triângulo E_1, E_2, E_3 e positiva no exterior. O ponto E_4 é um mínimo da função e fica envolvido pelas trajectórias que nesta região são fechadas. Esta circunstância confirma a conclusão anterior, (III, *B.*), de que, no caso conservativo, E_4 é um centro. A esta afirmação de carácter local pode agora acrescentar-se outra de carácter global: Qualquer regime iniciado no interior do triângulo permanece, na sua evolução no tempo, indefinidamente no interior dum domínio limitado contido nesse triângulo. Pelo contrário, qualquer regime iniciado no exterior do triângulo crescerá indefinidamente segundo a amplitude do modo B. No caso conservativo, o interior do triângulo é portanto o domínio de estabilidade do sistema no que respeita às condições iniciais da sua evolução no tempo.

B. Caso geral.

Na impossibilidade de calcular as soluções por um método analítico simples, recorreu-se ao cálculo analógico. A mecanização do sistema (19) foi feita segundo o esquema da Fig. 10, tendo sido obtido, entre outros, o traçado relativo ao caso de existir dissipação ligeira representado na Fig. 11.

Como fora previsto, Fig. 6 e pela análise da estabilidade local de III, *B.*, as trajectórias enrolam-se em torno do ponto de equilíbrio antes de o atingirem. A existência de dissipação no circuito passivo é portanto essencial para que o equilíbrio seja efectivamente atingido, pois que doutro modo, Fig. 9, as trajectórias são fechadas.

O traçado da Fig. 11 revela ainda que o limite

Mecanização das equações:

$$\begin{cases} -\dfrac{da}{d\tau} = aA\,, & A = -\alpha + a + 2b \\[2ex] -\dfrac{db}{d\tau} = -bB\,, & B = -\beta + b + 2a \end{cases}$$

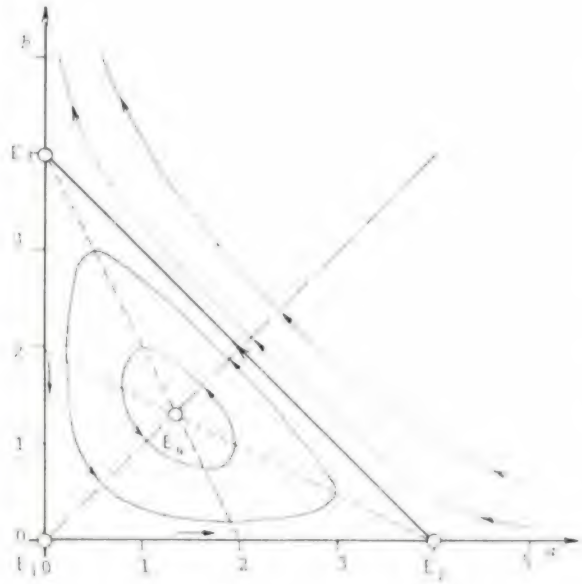


Fig. 9 — Trajectórias no caso conservativo

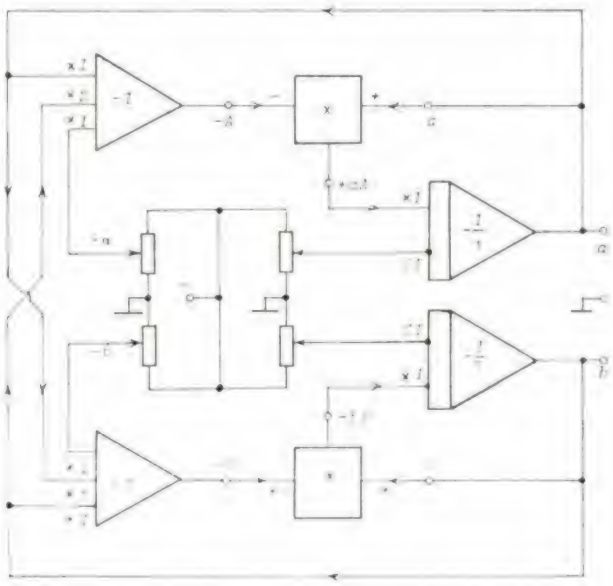


Fig. 10

da região de atracção do ponto E_4 é a linha separatriz que termina em E_3. Todas as trajectórias iniciadas *sob* essa linha convergem para E_4. A região de atracção estende-se assim por uma faixa infinita, progressivamente mais estreita, disposta ao longo do eixo das abcissas. Ver também Fig. 8. Esta circunstância significa que condições iniciais, mesmo de grande amplitude, desde que correspondam pràticamente só à presença do modo A (modo favorecido no domínio das pequenas amplitudes), conduzem ainda assim à oscilação simultânea nas duas frequências.

A chave do problema da estabilidade global deste sistema está portanto no conhecimento do andamento da separatriz que termina em E_3. Este andamento pode sempre obter-se para cada caso, e à falta doutro método, pela integração numérica do sistema (19) partindo da vizinhança do ponto E_3 e na direcção conhecida da separatriz obtida em III, C. Dado que a separatriz termina em E_3, é necessário inverter o sinal dos acréscimos de τ.

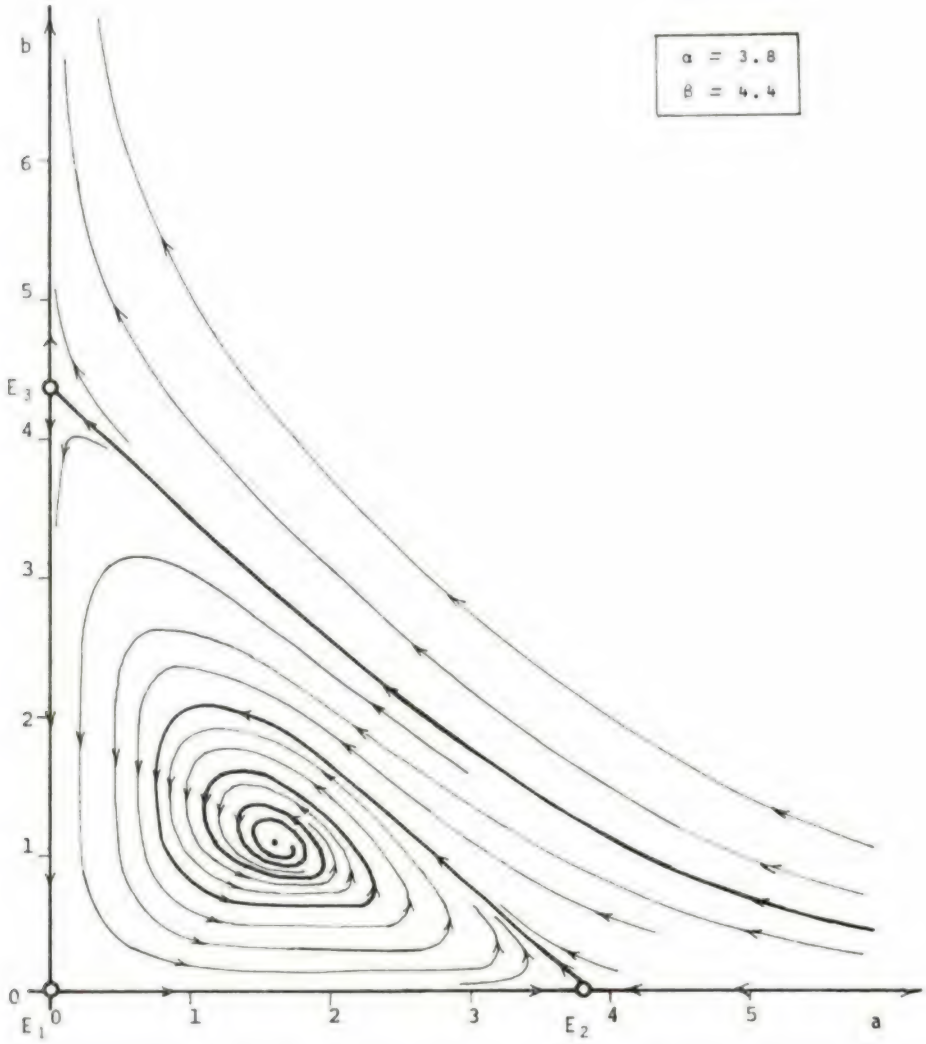


Fig. 11 — Traçado das trajectórias obtido pela mecanização das equações de evolução segundo o esquema da Fig. 10.

No Quadro I apresenta-se o resultado dum cálculo típico através dos valores das coordenadas de alguns pontos da separatriz. Os primeiros valores do quadro revelam um andamento pràticamente rectilíneo à saída de E_3, os últimos valores revelam uma aproximação rápida do eixo das abcissas, ultrapassada a abcissa de E_2.

QUADRO I

a	b	a	b
0.0187	4.268	3.558	1.230
0.127	4.165	5.438	0.417
0.500	3.812	7.233	0.175
1.108	3.247	12.10	0.0401
2.155	2.313	65.19	0.0001

$\alpha = 3.846$
$\beta = 4.286$

Pontos da separatriz limite do domínio de atracção de E_4

V. EXPERIÊNCIAS

A. Simulação analógica.

Para confirmação da aplicabilidade da teoria feita ao modelo da Fig. 3, simulou-se esse modelo directamente com a montagem da Fig. 12, que não é mais que a mecanização do sistema de equações diferenciais dos valores instantâneos das tensões u_1 e u_2 da Fig. 3. Trata-se dum sistema de duas equações de 2.ª ordem. A característica do elemento activo não-linear foi aproximada por uma linha quebrada, Fig. 12 que traduz o essencial quanto à forma dessa característica. A simulação da Fig. 12 permite, além da observação do comportamento das tensões dos ressoadores u_1 e u_2, isolar também tensões relativas aos modos A e B para observação, realizando a soma e a diferença das tensões dos dois ressoadores (6).

Os oscilogramas n.os 1 a 7 foram obtidos com a montagem da Fig. 12. O grupo 1, 2 e 3 corresponde ao arranque a partir do repouso. Tal como foi descrito na introdução, arranca primeiro o modo A (Osc. 1), depois o modo B (Osc. 2), antes de se atingir o regime estacionário notam-se sucessivas oscilações alternadas da amplitude dum e doutro modo (ignorar o denteado das envolventes). O Osc. 3 mostra a sobreposição dos dois anteriores e representa a tensão do ressoador 1, o crescimento inicial deve-se ao modo A, o subsequente aparecimento do modo B dá origem ao batimento característico do regime estacionário final. O Osc. 4 apresenta esse regime final em pormenor numa escala de tempos dilatada. O grupo de oscilo-

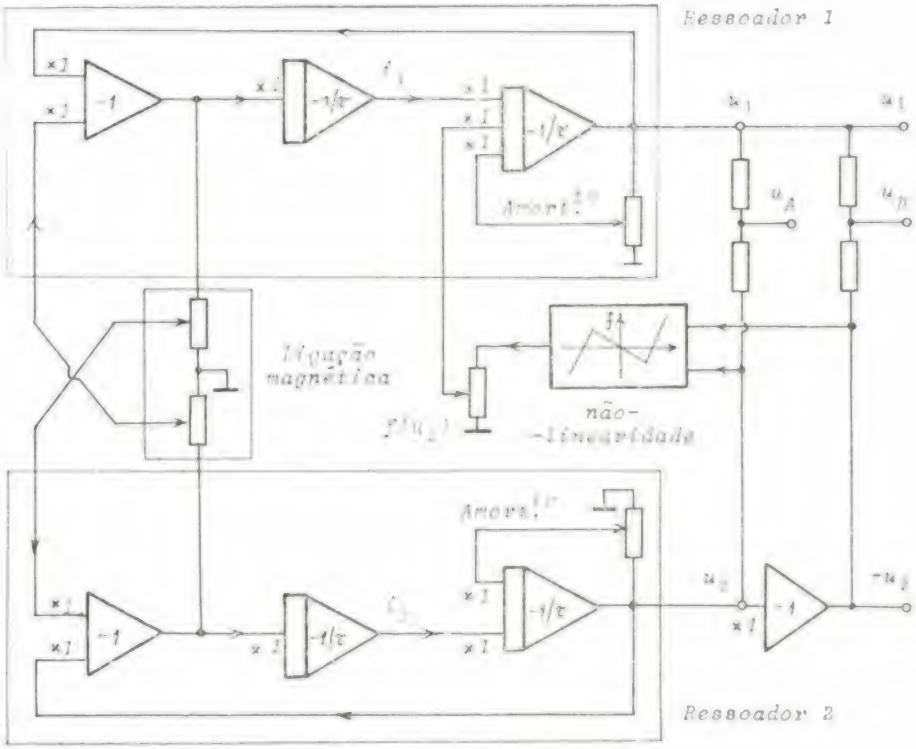
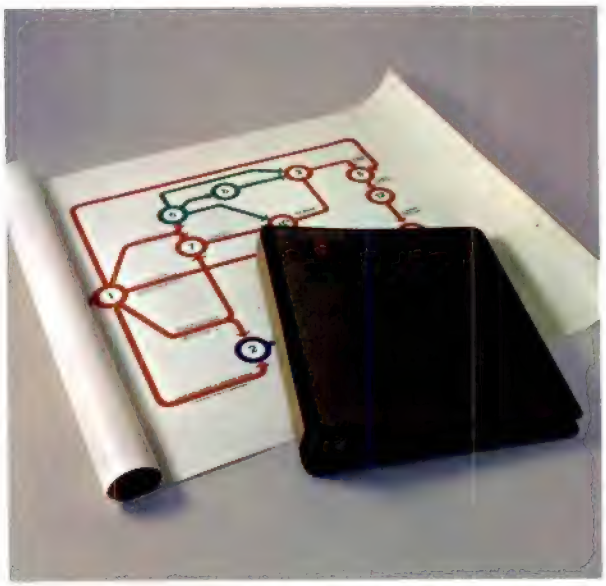


Fig. 12 — Simulação do modelo da Fig. 3

Se é raro apresentarmos o preço mais baixo, porque razão vendemos tanto óleo para grandes turbinas?



O Programa Mobil para Redução de Custos pode aplicar-se de início a uma fase isolada da manutenção das Empresas. Depois de iniciado, porém, o mais natural é estender-se a todas as fases dessa actividade — e até de outras talvez.

Das 46 turbinas a vapor, acima de 400 MW, instaladas entre 1966 e 1968, 24% seleccionaram MOBIL desde que entraram em funcionamento.

Estas vendas não se baseiam só na qualidade dos produtos. A qualidade do serviço também conta. A equipa técnica MOBIL acompanha cada passo do projecto - fazendo verificações com os construtores da turbina e da estrutura; seleccionando os lubrificantes adequados para o equipamento auxiliar; recomendando produtos anti-ferrugem para proteger as peças; assegurando a entrega de lubrificantes na hora exacta e, finalmente, treinando o pessoal que trabalhará na lubrificação.

Para os clientes tudo isto representa menos preocupações, perdas de tempo e despesas.

Garantindo este tipo de serviço a MOBIL não pode proporcionar, sempre, os preços mais baixos. No entanto, os clientes estão mais interessados nos resultados a longo prazo do que nos custos iniciais.

Mobil

vendemos mais vendendo menos

TÉCNICA—XVIII

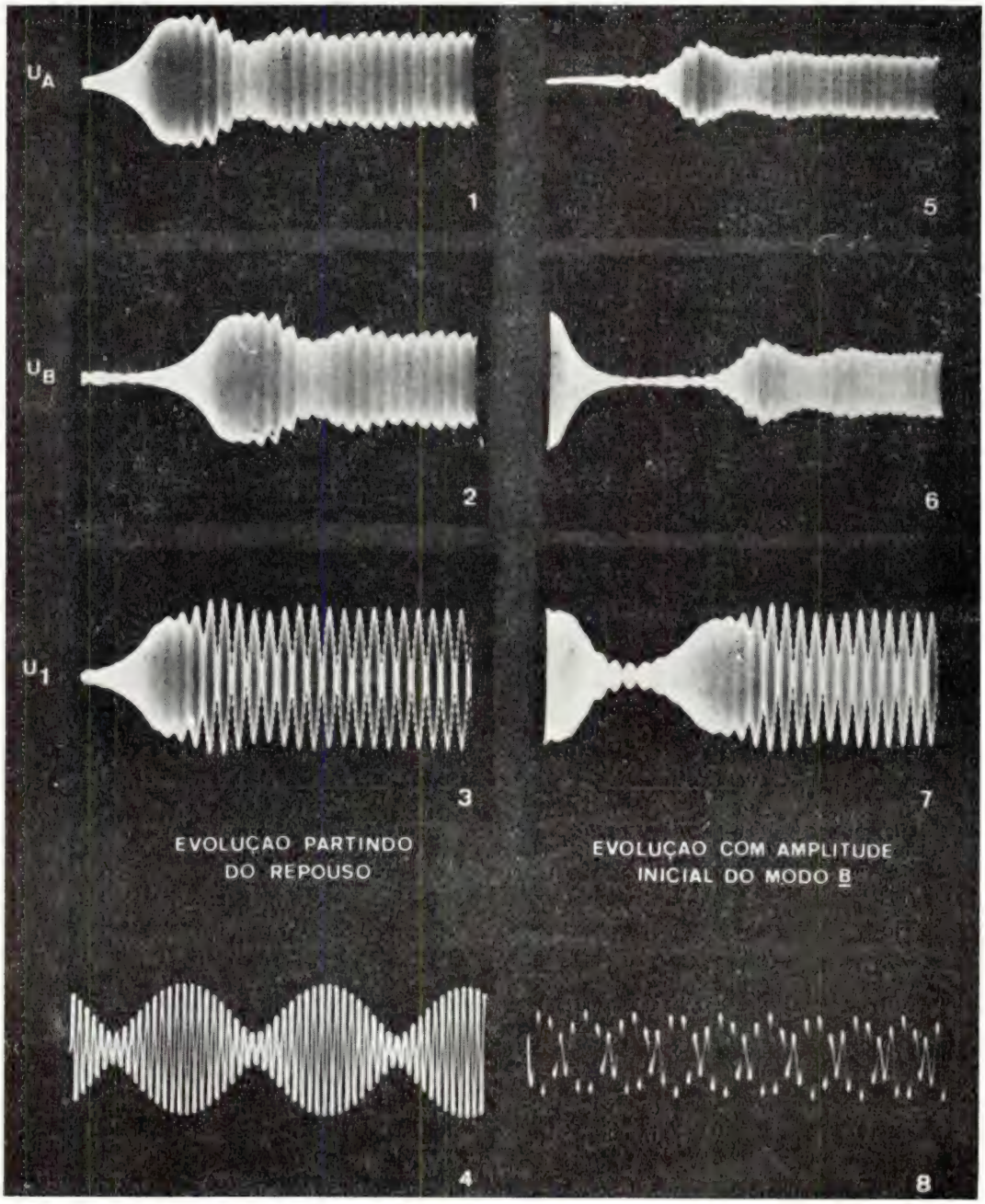
Mobil

vendemos mais vendendo menos

gramas 5, 6 e 7 por seu turno, representa pela mesma ordem o caso do arranque com amplitude inicial do modo B. Como este modo é amortecido no domínio das pequenas amplitudes, começa por desaparecer (Osc. 6), entretanto a sua presença impede a auto-excitação do modo A que só vem a crescer depois do desaparecimento do modo B (Osc. 5). Uma vez alcançado o domínio das grandes amplitudes, através do crescimento do modo A, o modo B reaparece, (Osc. 5). Assim na tensão do ressoador (Osc. 7), começa por se observar o desaparecimento da oscilação inicial, devida ao modo B, para reaparecer mais tarde agora devida ao modo A. O reaparecimento do modo B inicia finalmente o batimento correspondente ao regime final.

Na simulação a frequência das oscilações era de cerca de 15 Hz e a duração dos oscilogramas 35 segundos! As condições são portanto efectivamente de evolução das amplitudes lenta à escala do período das oscilações. O factor de ligação simulado era de 0,055.

OSCILOGRAMAS



B. Circuito real.

Com bobinas e condensadores constituiu-se um circuito passivo equivalente ao do modelo da Fig. 3 que se associou em cadeia fechada com um circuito activo cuja característica é da forma dada na Fig. 4(B). Ver Fig. 13. Para este fim empregou-se um amplificador de tensão diferencial (amplificação 40x), com uma resistência adicional em série na saída. Por meio do par de díodos associados à entrada + do amplificador consegue-se realizar a inflexão da característica no domínio das pequenas amplitudes. A limitação no domínio das grandes amplitudes é dada pela própria saturação do amplificador.

O Osc. 8 representa um funcionamento típico em regime estacionário, no domínio das pequenas amplitudes com os dois modos de oscilação presentes. O arranque a partir do repouso consegue-se mediante um curto-circuito momentâneo dos pontos A e B, Fig. 13, pois que pela ligação inicial da tensão contínua de alimentação do amplificador se obtém invariàvelmente o regime de grande amplitude com uma única oscilação.

As frequências presentes situavam-se na proximidade dos 6KHz.

D. Prova de assincronismo.

Sincronizando a base de tempo do oscilógrafo com um dos modos e observando o outro, a ausência duma imagem estacionária, mesmo usando um alvo de longa persistência evidência de assincronismo. Informação semelhante pode ser obtida sincronizando a base de tempo com a oscilação e observando a envolvente. Este segundo método é o único que é imediatamente aplicável ao circuito real. Constitui também uma boa prova de assincronismo constatar a possibilidade de variação contínua e regular da diferença das frequências das oscilações produzidas com o factor de ligação k dos ressoadores.

Experiências feitas não revelaram qualquer tendência para o sincronismo na montagem de simulação e ligeira tendência, na vizinhança de certos valores de k, no circuito real. Esta tendência explica-se por a relação de frequências no circuito real se poder aproximar de razões de números inteiros pequenos (Osc.8). Não sendo fácil na montagem real aproximar a situação quase-conservativa como na montagem de simulação, é-se forçado a trabalhar com modos mais separados na frequência. Comparem-se os oscilogramas 4 e 8.

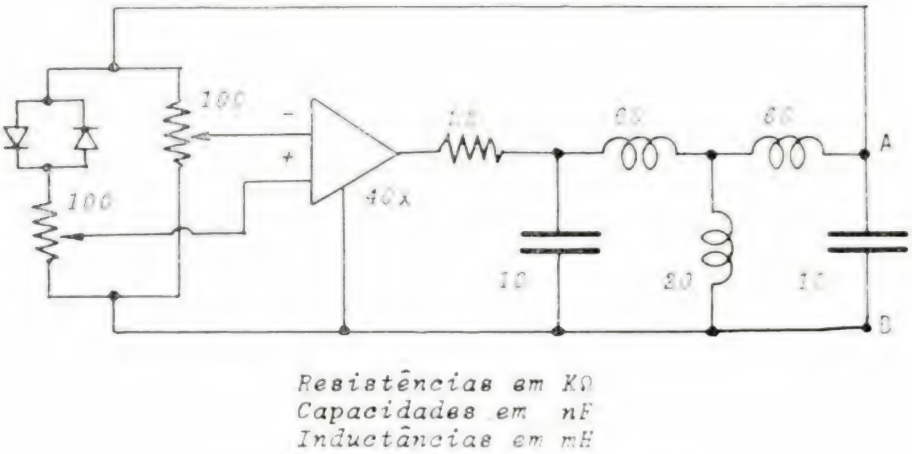


Fig. 13 — Esquema do circuito real ensaiado

VI. CONCLUSÕES

O estudo do modelo da Fig. 3 combas e nas equações de evolução das amplitudes dos dois modos de oscilação possíveis, revela a existência, em condições apropriadas, dum único estado de equilíbrio estável que corresponde à oscilação simultânea nas duas frequências próprias do circuito passivo, sendo esse estado de equilíbrio acessível a partir do repouso.

Em termos do sistema de equações de evolução, esse estado de equilíbrio é um foco. A rapi-

dez de convergência é função da dissipação existente no circuito passivo que tem portanto carácter essencial na manifestação deste regime de funcionamento.

No que toca à não linearidade, a característica essencial que deve apresentar consiste em proporcionar transmissão em fase no domínio das grandes amplitudes e transmissão em oposição de fase no domínio das pequenas amplitudes, (ou o inverso). Com efeito foi possível confirmar experimentalmente os resultados da teoria numa simulação em que a não-linearidade era traduzida por uma linha quebrada em vez do polinómio ímpar do 3.° grau que explìcitamente se admitiu na teoria.

É também possível pôr em evidência a existência de regimes de funcionamento deste género numa montagem experimental empregando um circuito passivo real, constituído por bobines e condensadores, desde que se realize um circuito activo com a não-linearidade conveniente.

AGRADECIMENTOS

Ao Colega Eng.° Cardoso Igreja pelas oportunidades de discussão destas matérias ao longo da nossa colaboração na Cadeira de Laboratório de Electricidade, em ligação com os trabalhos práticos da qual o problema abordado neste trabalho inicialmente surgiu.

Ao Colega Eng.° Viegas Gonçalves pela execução de cálculos numéricos.

Ao Centro de Investigação da Companhia União Fabril (Sacavém), pela utilização do computador analógico para a mecanização das equações de evolução, Figs. 10 e 11.

As experiências relatadas em V. foram realizadas no Laboratório de Medidas Eléctricas do Instituto Superior Técnico tendo sido utilizado o seu equipamento.

BIBLIOGRAFIA

[1] Balth. van der Pol, «On Oscillation Hysteresis in a Triode Generator with Two Degrees of Freedom», Phil., Vol. 43 p. p. 700-719, April 1922.

[2] Balth. van der Pol, «The Nonlinear Theory of Electric Oscillations», Proc. Inst. Radio Engrs, Vol. 22, p. p. 1051-1086, September 1934.

[3] H. Barkhausen, «Lehrbuch der Elektronen--Röhren», 3. Band: Rückkopplung, S. Hirzel Verlag Leipzig, 3. Auflage 1934.
(§ 7. c. β, 7. Auflage, 1954)

[4] N. Kryloff, N. Bogoliuboff, «Introduction to Non--Linear Mechanics», Princeton University Press, Princeton, N. J. 1943.

[5] L. V. Skinner, «Criteria for Stability in Circuits Containing Non-Linear Resistance», Thesis, University of Illinois, June 1948.

[6] R. E. Fontana, «Internal Resonance in Circuits Containing Nonlinear Resistance», Proc. Inst. Radio Engrs, Vol. 39, p. p. 945-951, August 1951.

[7] J. S. Schaffner, «Simultaneous Oscillations in Oscillators», I. R. E. Trans. on Circuit Theory, Vol. CT-1, p. p. 2-8, June 1954.

[8] M. I. Disman, W. A. Edson, «Simultaneous Asynchronous Oscillations in Class-C Oscillators», Proc. Inst. Radio Engrs. Vol. 46, p. p. 895-903, May 1958

[9] H. J. Reich, J. G. Skalnik, J. D. Crane, «Simultaneous Oscillations at Two or More Frequencies», Proc. Inst. Electrical Electronic Engrs., Vol. 51, p. p. 1051-1052, July 1963.

[10] I. Bruyland, «Simultaneous Oscillations at Two Frequencies in RLC Circuits», Proc. Inst. Electrical. Electronic Engrs., Vol. 56, p. p. 82-83, January 1968.

[11] H. J. Reich, «A Graphical Method of Solving Nonlinear Differential Equations of Growth», Proc Inst. Electrical Electronic Engrs., Vol. 56, p. p 199-200, February 1968.

[12] H. J. Reich, «The Growth of Oscillations in Two--Resonator Negative-Conductance Oscillators», IEEE Trans. on Circuit Theory, Vol. CT-15, p. p. 259-262, September 1968.

[13] I. Bruyland, «Oscillators Capable of Two-Frequency Operation», Arch. d. elekt. Übertragung, Band 22, Seiten 479-486, Oktober 1968.

[14] A. C. Scott, «Distributed Multimode Oscillators of One and Two Spatial Dimensions», IEEE Trans. on Circuit Theory, Vol. CT-17, p. p. 55-60, February 1970.

[15] W. Baier, «Analyse und Synthese aktiver Schaltungen mit mehrfrequentem Anschwingverhalten», Arch. d. elekt. Übertragung, Band 24, Seiten 118-124, März 1970.

NOTICIÁRIO

46.° Encontro anual da Associação Técnica de Pavimentos a Asfalto

Realiza-se em Oklahoma City nos dias 15-17 de Fevereiro de 1971 o 46.° encontro anual da Associação Técnica do Pavimento a Asfalto. O Encontro tem por finalidade o progresso de tecnologia do pavimento a asfalto através das pesquizas e comunicação entre os membros da Associação.

Apresentam-se em seguida os temas sujeitos a discussão distribuída por 5 sessões:

Sessão I. BASES AND SUBGRADES; DESIGN AND PERFORMANCE. L. L. Kole presiding

Milan Krukar e J. C. Cook, «Comparison of Washington State University Test Track Experimental Pavement Rings ≠ 2 and ≠ 3».

James A. Carroll e B. A. Brakey, «Experimental Work, Design and Construction of Asphalt Bases and Membranes in Colorado and Wyoming».

T. Allen Haliburton, «Performance of Asphaltic Pavement Components e Systems on Expansive Oklahoma Subgrades».

Chester McDowell e A. W. Smith, «Design, Control, and Interpretation of Tests for Bituminous Hot Mix Black Base Mixtures».

Sessão II. MIXTURE PROPERTIES & PAVEMENT ANALYSES. C. L. Monismith presiding

Roger Cragg e Peter S. Pell, «The Dynamic Stiffness of Bituminous Road Materials».

Richard A. Burgess, O. Kopvillem, e F. D. Young, «Ste. Anne Test Road — Relationships Between Predicted Fracture Temperatures and Low-Temperature Field Performance».

John A. Deacon, «Equivalent Passages of Aircraft with Respect to Fatigue Distress of Flexible Airfield Pavements».

Bruce G. Frenzel, Philip F. Dickson e Jack S. Corlew, «Computer Analysis for Modification of Base Environmental Conditions to Permit Cold Weather Paving».

Sessão III. SYMPOSIUM. «ASPHALT PAVING FOR THE 70' S". V. M. Marker presiding

Sessão IV. PAVEMENT SURFACE CHARACTERISTICS. Ward K. Parr presiding

A. Please e D. R. Lamb, «Binder Properties and the Retention of Texture in Asphaltic Surfacings».

H. J. Fromm e J. T. Corkill, «Surface Course Mixes to Resist Wear by Studded Tires».

J. H. Dillard e G. W. Maupin, Jr., «Use of Sprinkle Treatment to Provide Skid Resistant Pavements».

Gharles R. Marek, «Voids in Compacted Surface Treatment Aggregate Layers».

Sessão V. MATERIALS PROPERTIES. W. J. Halstead presiding

W. Heukelom e P. W. O. Wijga, «Viscosity of Dispersions as Governed by Concentration and Rate of Shear».

J. C. Robertson e J. R. Moore, «A Correlation of the Studies of Inverse GLC of Paving Asphalts with Paired Comparisons Performance Analysis».

R. A. Jiminez e J. D. Kriegh, «Setting and Durability of Asphalt Emulsions».

R. L. Terrel e C. K. Wang, «Early Curing Behavior of Cement Modified Asphalt Emulsion Mixtures».

Modificação das datas de realização da feira de Hannover

Inaugurada anualmente no último sábado de Abril e durante 9 dias a feira de Hannover vê a partir de 1971 alterada as suas datas de realização com o acordo dos expositores de forma a aumentar o número de dias úteis de exposição.

A partir do próximo ano a inauguração será feita numa quarta-feira e o certame terminará na 6.ª feira da semana seguinte incluindo apenas 1 fim de semana e fazendo-se o possível para que o dia 1 de Maio — Dia do Trabalho na Alemanha — não seja incluído todos os anos no tempo útil da feira.

Deste modo resumiram-se os dias inúteis da feira de 5 para 2 dias.

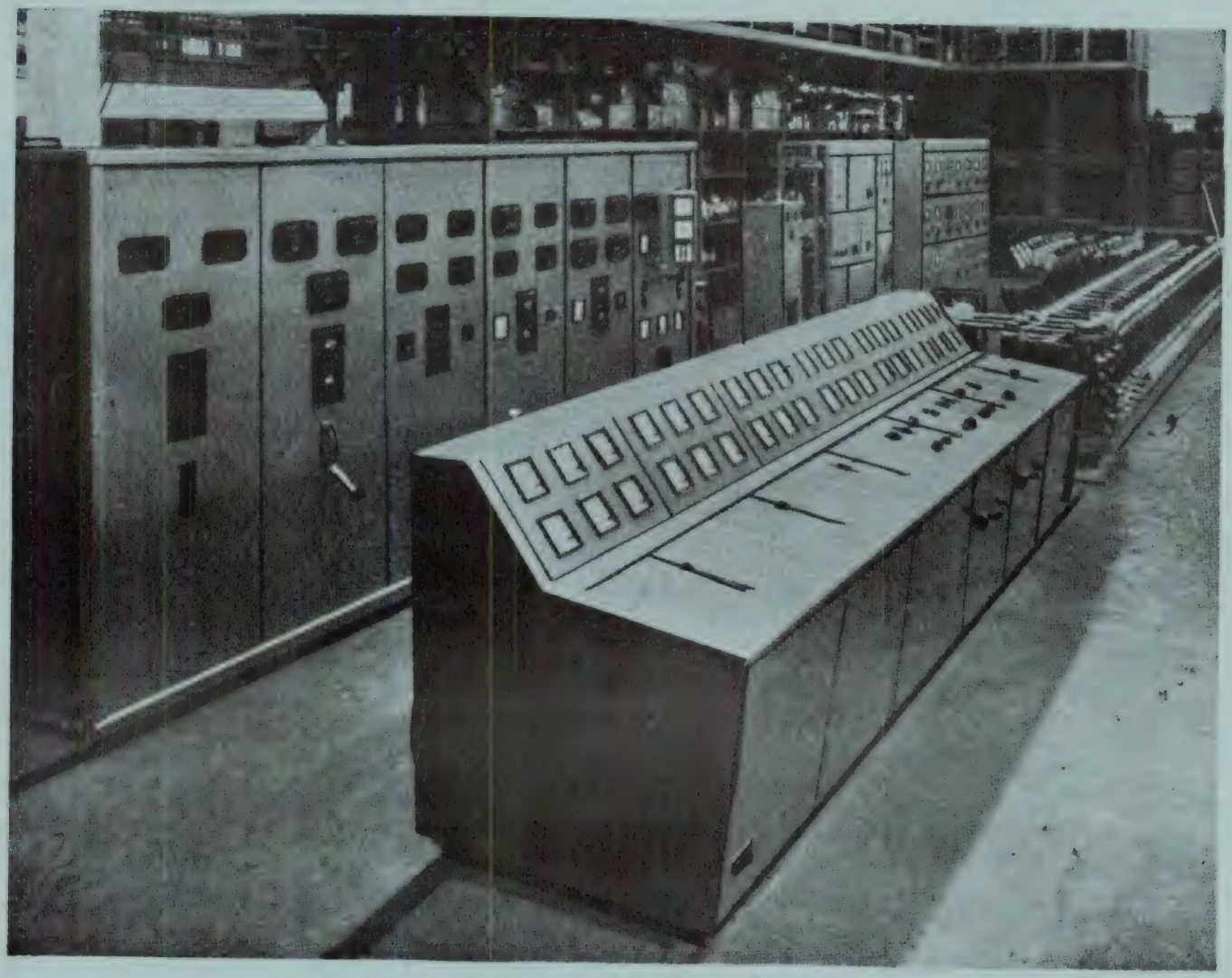
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743

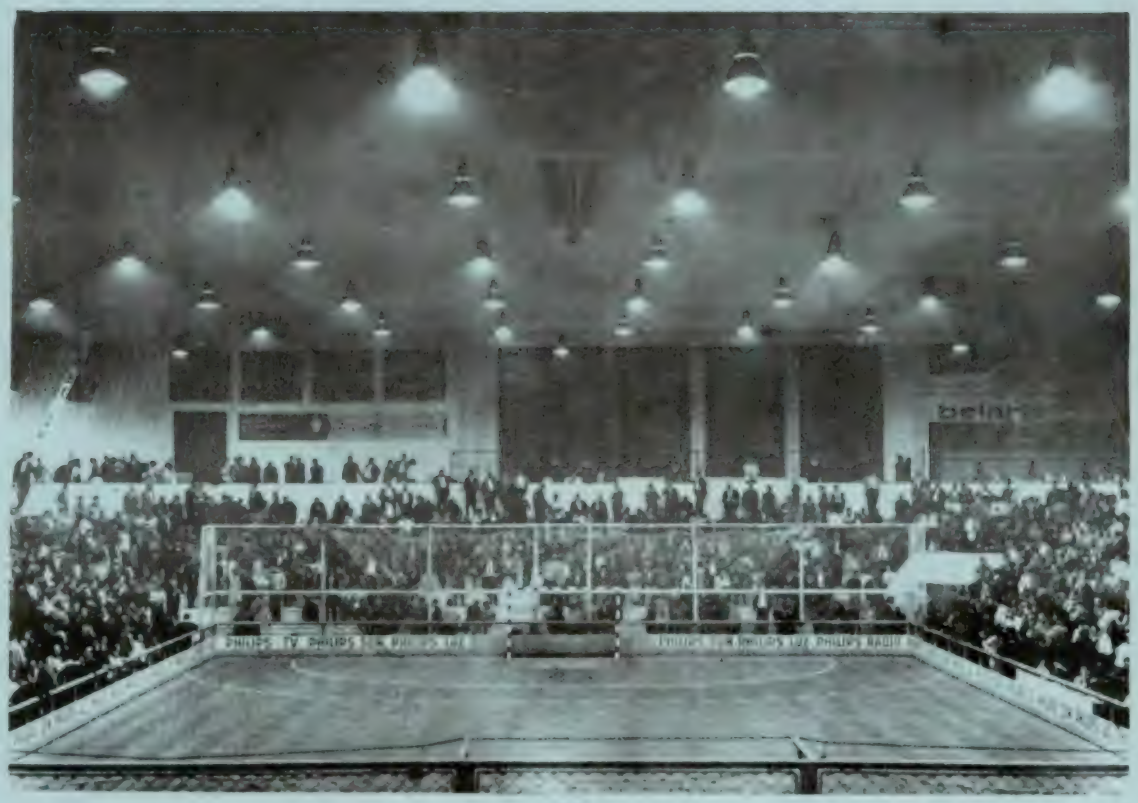


Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

ARMADURA DE ILUMINAÇÃO

TIPO **PC**



Aparelho especialmente concebido para iluminação de recintos desportivos e industrial, com uma vasta gama de reflectores que permite escolher a melhor solução, caso por caso para melhores resultados fotométricos.

Na foto: Pavilhão desportivo do Sport Lisboa e Benfica.

CONSTRUÇÕES ELÉCTRICAS SCHRÉDER, LDA.

P. JOSÉ FONTANA, 25-3°ESQ · TEL. 561001/2/3

C. D. U. 627.52

EROSÃO DE PRAIAS — PANORAMA GERAL
SITUAÇÃO EM PORTUGAL

por DANIEL VERA - CRUZ
Engenheiro Civil, Especialista do Serviço de Hidráulica, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RESUMO

Define-se praia e apontam-se os principais agentes naturais que sobre ela actuam. Refere-se a interdependência entre esses agentes e o regime aluvionar costeiro. Apontam-se os casos de equilíbrio estático e dinâmico de praias, os casos em que uma dada situação de equilíbrio pode ser interrompida, e foca-se a consequência grave dessa quebra de equilíbrio, que é a erosão costeira.

Citam-se métodos usados na defesa contra a erosão costeira e conclui-se pela necessidade de caracterizar a fisiografia costeira para a escolha do método mais indicado em cada caso. Mostra-se a necessidade de proceder a observações de campo para a caracterização da fisiografia costeira, referindo-se, a propósito, programas de observações em curso nos Estados Unidos da América e na Holanda. Finalmente, comenta-se a situação em Portugal quanto à erosão de praias e justifica-se a necessidade de se formular e pôr em prática um programa integral de observações de agentes e processos costeiros, para o que se sugere um esquema de procedimento.

SYNOPSIS

The term «beach» is defined and the principal natural agents influencing beaches are listed. The interdependence between these agents and the alluvial coastal regime is pointed out. The cases of static and dynamic equilibrium of beaches are quoted, as well as those in which a given situation of equilibrium can be interrupted, stressing the severe consequences that may follow this interruption, namely coastal erosion.

The methods used in the protection against coastal erosion are mentioned and it is concluded that one has to characterize the coastal physiography in order to choose the method best suited to each case. The need to carry out field observations on the characteristics of coastal physiography is shown, some observation programs under way in the United States and in Holand being mentioned to the purpose.

Finally the situation of beach erosion in Portugal is examined and the need to formulate and put into practice a thourough program of observation of coastal agents and processes is stressed, and a course of action suggested.

1 — INTRODUÇÃO

1.1 — Generalidades

Por praia entende-se correntemente uma área de aluviões — areias ou calhaus — erguendo-se em talude mais ou menos suave acima de um plano de água.

Convém no entanto, para melhor compreensão do que se vai dizer, generalizar a noção de praia.

Num conceito mais geral, a praia é uma massa de aluviões, em contacto com uma massa de água, condicionada pelas flutuações que pode sofrer o nível médio da superfície livre daquela massa de água e pelas perturbações geradas na mesma superfície. A praia estender-se-á acima e abaixo da superfície do mar. O limite do lado de terra é normalmente caracterizado por uma mudança da natureza do material da praia. Por vezes, em praias marítimas, esse limite corresponde ao aparecimento de vegetação e coincide com a cota mais alta atingida pelo espraiamento das ondas.

É conhecimento resultante da observação directa de todos os que, como banhistas, frequentam as praias que as aluviões que as constituem, em particular as areias, se encontram em constante movimento, subindo e descendo a praia, havendo ainda zonas em que a água se apresenta com quantidades apreciáveis de aluviões em suspensão. O constante movimento das aluviões é uma característica das praias e nessa característica se baseia um critério de delimitação do trecho submarino da praia. Poderá, com base nesse critério, considerar-se a praia como terminando do lado do mar na zona onde os movimentos das aluviões, resultantes da acção das ondas, sejam julgados insignificantes. Ora, sabido quão variáveis são as características das ondas ao longo do tempo, fácil é reconhecer que o

limite da praia é igualmente muito variável. A variabilidade desse limite será ainda função da variação do nível médio da água, em consequência das marés, por exemplo. No que se segue, vão considerar-se praias marítimas de areias sujeitas ou não a marés, e, como perturbações da superfície do mar, a ondulação de período médio (6 a 20 s) gerada ao largo da praia, a que se sobrepõem ou não as vagas geradas pelo vento local, de período curto (1 a 6 s). Às perturbações da superfície do mar resultantes da presença isolada ou simultânea da ondulação do largo e das vagas locais dar-se-á a designação genérica de ondas.

As ondas são os agentes principais da movimentação das areias. Estas movimentam-se quer em suspensão, quer por arrastamento junto ao fundo. O movimento em suspensão predomina num trecho entre a linha de rebentação das ondas e a linha em que o nível do mar encontra a praia, sendo maior a concentração de areias nas vizinhanças da rebentação, onde é maior a turbulência.

Quanto às suas direcções, os movimentos classificam-se em dois grupos extremos: movimentos transversais e movimentos longitudinais.

Os movimentos transversais são aqueles que se geram quando as ondas atacam frontalmente a praia, ou seja, quando as cristas das ondas são paralelas às batimétricas. Nestas condições-limite, as areias movimentam-se em ambos os sentidos, numa direcção normal às batimétricas, com ou sem predominância em qualquer dos sentidos do movimento.

Os movimentos longitudinais são os que se processam paralelamente às batimétricas, em qualquer dos sentidos, com ou sem resultante em qualquer deles.

Tanto os movimentos transversais como os longitudinais são fundamentalmente ditados pelas características das ondas actuantes, quer directamente pelo movimento ondulatório, quer indirectamente pelas correntes resultantes do processo ondulatório. O movimento transversal puro pode-se afirmar que não existe na realidade, já que pressupõe condições de regularidade da praia e das ondas que a observação corrente desmente. Existe no entanto uma permanente tendência, nunca totalmente concretizada, para o seu estabelecimento, no sentido em que as areias são movimentadas sempre segundo a direcção da propagação das ondas, ou seja, segundo a normal às cristas. Como a praia reage ao ataque das ondas procurando adaptar-se às mesmas de modo a que as batimétricas se tornem paralelas às cristas das ondas, resulta a tendência para o estabelecimento dos movimentos transversais atrás definidos. A constante variabilidade das características das ondas — direcção de propagação, alturas e períodos — torna pràticamente irrealizável a adaptação perfeita das batimétricas às cristas e, consequentemente, o estabelecimento de movimentos transversais puros.

1.2 — As ondas como agentes da movimentação das areias

Foi dito que os movimentos das areias resultam quer directamente do movimento ondulatório em si, quer das correntes motivadas pelo processo ondulatório. Importa portanto fazer algumas considerações sobre o movimento ondulatório, para melhor compreensão dos movimentos aluvionares que dele resultam.

As ondas que atacam uma praia são frequentemente geradas a centenas ou milhares de quilómetros de distância, em profundidades de centenas ou milhares de metros. Enquanto as ondas se propagam a profundidades suficientemente grandes para que essa propagação não seja influenciada pelo fundo, diz-se que a propagação se faz a grandes profundidades. Considera-se que as profundidades deixam de ser grandes quando a profundidade relativa se torna inferior a 0,5, entendendo-se por profundidade relativa o quociente da profundidade d pelo comprimento L da onda. As ondas passam então a propagar-se em profundidades médias, diminuindo o seu comprimento L à medida que diminui a profundidade. A passagem das ondas de grandes para médias profundidades é acompanhada de uma modificação das órbitas das partículas, de circulares a elípticas. Nas órbitas circulares os raios diminuem da superfície para o fundo, até se anularem à profundidade $d = \frac{L}{2}$. Nas órbitas elípticas, de eixo maior horizontal, os eixos diminuem da superfície para o fundo, onde o eixo vertical se anula. Junto ao fundo, portanto, as trajectórias das partículas são rectilíneas. Por profundidades médias entendem-se aquelas em que d/L está compreendido entre 0,5 e 0,04.

A essas profundidades, a velocidade de propagação das ondas é função de d e de L, pela teoria das ondas sinusoidais de pequena amplitude, enquanto a grandes profundidades ela depende só de L. Quando $d/L < 0{,}04$, entra-se na região das pequenas profundidades, onde a velocidade de propagação se torna independente de L, variando apenas com d.

A velocidade das partículas do líquido no seu movimento orbital, na região de profundidades médias, é proporcional, para ondas do mesmo período, às dimensões dos eixos das elipses. Como estes diminuem da superfície para o fundo, as velocidades diminuem no mesmo sentido, sendo a diferença entre as velocidades à superfície e no fundo tanto menor quanto menor for a profundidade, já que os eixos da elipse variam exponencialmente com a profundidade. A velocidade máxima junto ao fundo será, portanto, função da velocidade máxima à superfície e função, para a mesma profundidade, da amplitude da onda à superfície. Compreende-se que, a partir de certo valor da velocidade junto ao fundo, as aluviões ali existentes possam entrar em movimento por arrastamento, descrevendo trajectórias rectilíneas. Se as órbitas das partículas fossem fechadas, ou, mais precisamente, se as órbitas fossem rigorosamente elípticas em torno de pontos fixos, as aluviões oscilariam em torno da sua inicial posição de repouso. Ora, a teoria prevê, e a experiência confirma-o, que as órbitas são ligeiramente abertas, isto é, que a mesma partícula tende a descrever a sua órbita em torno de pontos diferentes que avançam no sentido de propagação da onda. Por esta via, há uma tendência para arrastamento do material de fundo em direcção à terra e um transporte de massa de água no mesmo sentido. O contínuo afluxo de água à praia por transporte de massa cria um desnível na superfície média da massa de água — mais alta junto à praia —, desnível esse que provoca uma corrente da terra para o mar que compensa o transporte de massa. Aquela corrente pode por sua vez dar-se com velocidade suficiente para promover o arrastamento das aluviões.

O movimento ondulatório, inicialmente harmónico e estável, vai-se tornando menos estável à medida que diminuem as profundidades, até entrar em franca instabilidade que culmina com a rebentação das ondas a profundidades que variam com a altura e o período das ondas e com o declive da praia. O processo de rebentação é muito turbulento, pondo em suspensão quantidades apreciáveis de areia. Essa areia em suspensão é agora mais fàcilmente transportável por correntes que se estabeleçam no seio da massa líquida, entre elas a descrita corrente de compensação do transporte de massa. Mas além desta corrente de compensação, outras são geradas pela rebentação das ondas.

Primeiramente, temos o chamado jacto de rebentação, que sobe a praia até se transformar em potencial a sua energia cinética, após o que se inicia a descida. Além desta corrente, outra aparece quando as ondas atacam oblìquamente a praia. Nestas circunstâncias, gera-se uma corrente paralela à costa, concentrada entre a linha de costa * e a zona de rebentação e mantida pela componente da energia das ondas paralela à costa. Esta corrente, que na literatura anglo-saxónica é conhecida por «longshore-current», é designada em certas regiões costeiras de Portugal por corredoura, designação que se preconiza. Estas duas correntes, jacto de rebentação e corredoura, são usualmente os principais agentes transportadores de areia, combinando-se a última, muitas vezes, com a corrente de compensação do transporte de massa.

Na Fig. 1 esquematiza-se o caminhamento de areias resultantes das duas correntes. Acima da linha de costa, predomina o transporte em ziguezague resultante do jacto de rebentação.

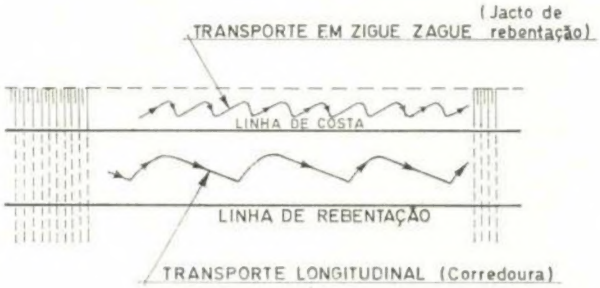


Fig. 1 — Esquematização do transporte de areias pelas ondas

No caso do ataque frontal da praia, não existirá a corredoura e a movimentação das areias será condicionada pela infiuência relativa do transporte de massa e da sua corrente de compensa-

* Linha de intersecção do nível médio da água em repouso com a costa.

ção, influência variável com as características da ondulação. Conforme predomina a primeira ou a segunda, a praia engorda ou é erodida.

No caso do ataque oblíquo, a velocidade média da corredoura será função, fundamentalmente, do ângulo que a onda ao rebentar faz com a linha de costa, da altura e período da onda e da inclinação da praia.

A quantidade de areia de dada granulometria transportada por arrastamento ou em suspensão pela corredoura aumenta com a velocidade desta.

2 — EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DE PRAIAS. EROSÃO DE PRAIAS

2.1 — Generalidades

Viu-se que uma característica das praias é a constante movimentação das aluviões — em particular areias — que as formam, em consequência da actuação de forças naturais, com especial realce para aquelas provenientes da incidência das ondas e que se traduzem na geração de correntes capazes de transportar, por arrastamento ou em suspensão, volumes consideráveis de areias. O sentido do transporte pode ser transversal — aproximando-se da normal à linha de costa — ou longitudinal, ao longo da mesma linha. O transporte transversal é um reflexo de correntes várias, entre as quais a correspondente ao transporte de massa em direcção à costa e a resultante corrente de compensação, da costa para o largo. O transporte longitudinal é feito pela corredoura, corrente que aparece quando a praia é atacada obliquamente pelas ondas. Para o objectivo final do presente trabalho, não se considera necessário descrever correntes transversais e longitudinais, devidas ou não às ondas, que aparecem em circunstâncias diferentes das que foram consideradas.

Importa fundamentalmente ter presente que correntes transversais e longitudinais, que ocorrem em variadas circunstâncias, arrastam continuamente de qualquer trecho de uma praia quantidades consideráveis de areias, maiores ou menores consoante a intensidade daquelas correntes, função, por sua vez, das características das ondas actuantes.

Nesta base, vai-se procurar explicar esquemàticamente alguns casos de comportamento de praias quanto à sua evolução morfológica.

Consideram-se dois tipos principais de praias:

a) Praias com movimentos transversais importantes e movimentos longitudinais insignificantes;

b) Praias com movimentos transversais e movimentos longitudinais importantes.

2.2 — Praias com movimentos longitudinais desprezáveis em relação aos movimentos transversais

Em praias deste tipo, a variabilidade mais ou menos cíclica, ao longo de um período de tempo suficientemente longo, em geral um ano, das características da ondulação, provoca variações morfológicas da praia igualmente cíclicas. A um período de tempo de actuação de ondas em que predomina o transporte de areia para a praia — predominância do transporte de massa sobre a correspondente corrente de compensação — sucede outro em que a situação se inverte, passando o transporte pela corrente de compensação a ser o predominante. Na primeira situação a praia engorda, na segunda é erodida, reduzindo-se a largura da sua parte emersa. A longo prazo, a largura da praia flutua em torno de um valor médio. Como exemplo, cita-se o caso da praia de Copacabana onde a amplitude de variação da largura chega a ser, num ano, da ordem dos quarenta metros, para uma largura média de sessenta metros.

Praias nestas condições não acarretam problemas de maior e, atendendo à constância do valor médio da sua largura, diz-se que estão em equilíbrio estático.

2.3 — Praias com movimentos transversais e longitudinais importantes

Admite-se que os movimentos transversais, só por si, tenderiam a manter a praia em equilíbrio estático. Há agora, no respeitante aos movimentos longitudinais, que considerar dois casos:

a) Correntes longitudinais unidireccionais;

b) Correntes longitudinais bidireccionais.

2.3.1 — Correntes longitudinais unidireccionais

Neste caso, considerando um dado sector da praia, sai desse sector em cada instante um certo